



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA LITÝCH PRVKŮ VIKINGSKÝCH ZBRANÍ
RANÉHO STŘEDOVĚKU**

MANUFACTURE OF CAST EARLY MIDDLE AGE VIKING WEAPON PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

František Brůža

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **František Brůža**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba litých prvků vikingských zbraní raného středověku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Doba vikingská je datována přibližně mezi 8. až 11. stoletím našeho letopočtu. Vikingové byli mořeplavci a dobyvatelé, kteří v boji používali kromě oštěpů a seker těž dvoubřité meče s širokou čepelí okolo 5 cm o délce 60 až 100 cm. Tvary hlavic a záštít se rozlišovaly na základě data a místa vzniku a jejich provedení v současnosti slouží ke klasifikaci vikingských mečů. Hlavice a záštity byly v 8. až 9. století vyráběny zejména ze slitin mědi. Vyráběny byly z více kusů, které byly následně spojovány pájením. Později byly pak vyráběny už jako ocelové.

Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši na vikingské meče z hlediska jejich datování, tvaru, velikosti a jejich chemického složení jílců a čepelí. Provést výrobu modelu repliky jílce vikingského meče pomocí metod 3D tisku. Zhotovit repliku jílce vikingského meče původní slévárenskou technologií a moderní technologií na vytavitelný model a použité metody vyhodnotit.

Seznam doporučené literatury:

FEDRIGO, A. Extraction of archaeological information from metallic artefacts - A neutron diffraction study on Viking swords. Journal of Archaeological Science: Reports Volume 12, 1 April 2017, p. 425 - 436. ISSN 2352-409X.

KAINOV, S.Y. Swords from Gnězdovo. Studia I materialy – studies and materials. Acta Militaria Mediaevalia VIII. Kraków – Rzeszów – Sanok, 2012, s. 7 - 68.

TYKOT, R.H. Investigating Ancient “Bronzes”: Non-Destructive Analysis of Copper-Based Alloys. Artistry in Bronze The Greeks and Their Legacy. XIXth International Congress on Ancient Bronzes. October 2015.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá rešerší a následným rozbořem informací a dobových technologií, potřebných pro výrobu repliky mosazného jílce meče z desátého století. Zvláště je zaměřena na dobovou slévárenskou technologii. Dále je v práci rozebrána možnost výroby repliky pomocí 3D skenu a 3D tisku. Součástí práce je také komplexní experiment, zahrnující odlití prvků jílce pomocí dobové technologie a jeho následnou kompletaci. Otestována je také funkčnost reprodukce vyrobeného jílce pomocí 3D technologií, a to do stádia vytisknutého modelu.

Klíčová slova

historická rekonstrukce, replika, hliněná forma, meč, odlévání, mosaz

ABSTRACT

The Bachelor's project is concerned with the research and the following analysis of information and the period technologies needed for making a replica of the brass hilt of a 10th century sword. The project particularly focuses on the period casting technology. Next, the possibility of making a replica by a 3D scan and 3D print is discussed. The project also includes a comprehensive experiment consisting of casting parts of the hilt using the period technology. The functionality reproducing the hilt by 3D technology up to the printed model stage is also tested.

Keywords

historical reconstruction, replica, clay mould, sword, casting, brass

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRŮŽA, František. *Výroba litých prvků vikingských zbraní raného středověku*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124250>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Antonín Záděra.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Výroba litých prvků vikingských zbraní raného středověku* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
František Brůža

PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování patří doc. Ing. Antonínu Záděrovi Ph.D. za možnost realizace práce na toto téma, za podporu a pomoc při jejím vypracování a nadchnutí pro slévárenství jako takové.

Za podporu při celém studiu i mimo něj moc děkuji mým rodičům Marii Borošové a Oskaru Brůžovi. Za podporu a pomoc také díky celé rodině.

Neskutečné díky patří Ondřeji Štočkovi za obrovskou pomoc, sdílení mnoha zkušeností a vedení při realizaci práce, protože bez něj by praktickou část práce bylo možné dokončit jen velmi těžko.

Díky také akad. soch. Jiřímu Vlachovi za konzultace a pomoc při tvorbě forem moderní uměleckou metodou, akad. mal. Miroslavu Borošovi za pomoc při rytí a cizelování, Michaelu Borošovi za skvělou fotodokumentaci, lidem z odboru slévárenství ÚST FSI za ochotu na dílně a všem dalším, kteří mi byli u mé práce nějakým způsobem nápomocni.

Nakonec také díky Yogimu a Tomáši Vlasatému za konzultace ohledně historické části. Jim a také skupině Sköll patří díky i za to, že jsem se k tomuto tématu a koníčku (reenactmentu) s ním spjatému dostal a našel si k němu vztah.

OBSAH

Zadání
 Abstrakt
 Bibliografická citace
 Čestné prohlášení
 Poděkování
 Obsah

	Str.
Úvod	10
1 Historický kontext	11
1.1 Doba vikinská.....	11
1.2 Meče doby vikinské	12
1.3 Meč typu D z hrobu C–2, Gnězdovo	16
2 Možnosti historické rekonstrukce	18
2.1 Kovářství	18
2.2 Odlévání.....	19
2.2.1 Vzory a tvorba modelů	19
2.2.2 Možnosti formování	21
2.2.3 Druhy slitin a možnosti tavení.....	24
2.3 Možnosti spojování jednotlivých částí	25
2.3.1 Pájení	25
2.3.2 Nýtování	27
2.4 Zdobení a povrchové úpravy	28
2.4.1 Povrchová úprava zlacením.....	28
2.4.2 Povrchová úprava cínováním	31
2.5 Možnosti rekonstrukce meče pomocí 3D technologie	32
2.5.1 3D skenování	32
2.5.2 3D tisk	33
3 Rekonstrukce	36
3.1 Tvorba modelů.....	36
3.1.1 Tvorba vzorovaných dílů.....	36
3.1.2 Výroba modelu vnitřních částí	38
3.2 Výroba forem	40
3.2.1 Dobová směs	40
3.2.2 Moderní směs	41
3.3 Odlévání.....	43
3.3.1 Příprava.....	43
3.3.2 Lití	44
3.3.3 Odstranění forem a cizelování	46
3.4 Povrchové úpravy a kompletace	47

3.5 Test použití 3D technologií pro rekonstrukci	48
3.5.1 3D sken	49
3.5.2 3D tisk	50
4 Diskuze	51
4.1 Výsledky praktické části a jejich srovnání s řešerší	51
4.2 Návrhy na vylepšení technologického procesu výroby jílce	52
4.3 Návrhy na využití 3D technologií při rekonstrukcích nálezů	52

Závěry

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

ÚVOD

V rámci historických výzkumů a vykopávek bylo během posledního století nalezeno velké množství exponátů z raného středověku. Díky těmto nálezům byl také učiněn velký pokrok ve znalosti technologií, kterými byly tyto výrobky tvořeny. Velkou zásluhu na pokusech o rekonstruování nálezů a zkoumání dobových technologií má řada experimentálních archeologů. Svůj podíl zde ale má také vzrůstající zájem amatérských nadšenců a řemeslníků, kteří se snaží o věrné reprodukování nálezů, a to buď v rámci volnočasových aktivit, nebo profesně. Ke snaze o vytváření věrných rekonstrukcí přispívá i nárůst a popularizace tzv. reenactmentu (snaha o věrné ztvárňování historie) mezi veřejností.

Tato práce má za cíl rekonstrukci nálezu za pomoci dobové technologie. Replika takto vyrobená by při správném provedení a dostatečné věrnosti mohla být například vystavena v muzeu jako rekonstrukce originálu. Zároveň ale práce zkoumá možnost výroby kopie originálního nálezu použitím moderních 3D technologií, které by mohly zaručit přesnost tvaru kopie a nízkou cenu výroby. Při snaze o výrobu repliky 3D technologiemi uvažujeme zvláště rekonstrukce litých nálezů, které jsou zdobeny plastickými ornamenty, jež je možné úspěšně naskenovat.

Jako podklad k provedení pokusu o praktickou rekonstrukci byl zvolen meč typu D nalezený v ruském Gnězdovu, který vyniká svým technologickým zpracováním. Součástí tohoto meče je jílec vyrobený z několika vzorovaných odlévaných a k sobě spojených dílů. Pro samotnou výrobu jílců bylo třeba zvládnout poměrně velké množství úkonů a technologií. Tato studie se především zaměřuje na rekonstrukci technologie slévarenské. Její podíl je na jílcích nejvíce znatelný a viditelný. Zároveň je na litých plastických ornamentech možno provést i pokus o reprodukci pomocí 3D technologií.



Obr. 0-1 Jílec meče typu D z Gnězdova

1 HISTORICKÝ KONTEXT

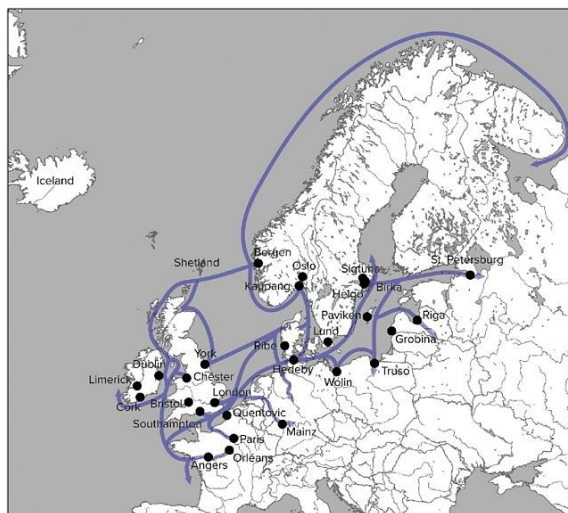
Pro jakoukoli správnou rekonstrukci historického nálezu je důležité znát jeho historický kontext. Z něj vyplývá správné pochopení účelu daného předmětu, zvolení vhodné technologie a materiálu i celkové uchopení výroby.

1.1 Doba vikinská [1] [2] [3] [4]

Dobou vikinskou je nazýváno uměle stanovené období ve Skandinávii od konce 8. století do poloviny 11. století. Jako začátek doby vikinské je považováno vyplnění Lindisfarne r. 793, naopak milníkem jejího konce je Bitva u Hastings r. 1066.

Obyvatelé Skandinávie raného středověku vešli do povědomí především jako Vikingové – nájezdníci. Je tomu tak především proto, že vikinská expanze historicky ovlivnila velkou část Evropy, od Francie přes Anglii až po Kyjevskou Rus a Byzantskou říši. Za jejími příčinami mohly stát např. domácí vnitropolitické pnutí a společenský tlak, doprovázeny nedostatkem volné úrodné půdy nebo nuceným exilem druhorozených potomků [1]. Vliv na expanzi měla také zvětšující se tendence k obchodu a výstavba nových typů lodí, které umožňovaly dlouhé námořní cesty, stejně jako možnost vylodit se i na mělkých písčných plážích. [2]

Na svém vrcholu nebyla vikinská společnost zdaleka pouze výbojná a útočná, nýbrž byla také velmi řemeslně, a zvláště obchodně zaměřená (Obr. 1-1). Bohatství z nájezdů dalo vzniknout významným obchodním centrům. Jako příklad nám zde mohou sloužit velké švédské obchodní centrum Birka a dánské Hedeby, později také ostrov Gotland. Tento významný rozmach obchodu dal také příčinu postupnému rozvoji severských řemesel a technologií, využívaných pro export. Do center severského obchodu raného středověku tedy směřovaly výrobky skvělých řemeslníků této doby a dodnes zde můžeme vidět mezi nálezy výrobky (nejen, avšak zvláště kovové) na vysoké technologické úrovni zpracování.



Obr. 1-1 Skandinávské námořní obchodní cesty v raném středověku

Z pohledu technologií raný středověk z části znovuobjevoval technologie a umění ztracená po pádu Římské říše. Skandinávská společnost tehdy velmi dbala na postavení jednotlivce a módu v tehdejší slova smyslu. Bohatá část společnosti proto neváhala investovat stříbro, získané z obchodu nebo nájezdů, do bohatých doplňků, šatů a dalších prvků, poukazujících na společenské postavení. Zároveň bylo potřeba rozvíjet řemesla pro výrobu zbraní, používaných při samotných nájezdech a nástrojů potřebných pro vlastní řemeslné práce na vlastním území. Proto je možné mezi řemeslnými technologiemi poukázat na velký rozvoj technologií zpracování kovů, zvláště pak tváření a slévárenství.

Technologie tváření kovů byla uplatňována zvláště u řemeslných potřeb a zbraní. Ocel v podobě železné houby byla běžně získávána v hliněných pecích redukcí z rud, těžených z bažin a písků. Poté byla houba kovářským zbravena nečistot, a zkuta, nejčastěji do tvaru prutů. Nejednalo se zde o nedostatkové zboží a získávání oceli bylo relativně běžnou prací. [5] Pro další zpracování se ocelové pruty posílaly specializovaným kovářům, kteří teprve ocel

zpracovávali a tvořili z ní nástroje. [2] Je nutno brát v potaz, že kování bylo fyzicky i technologicky náročnou technologií zpracování kovu a až do vynalezení vodního hamru byla všechna práce prováděna ručně. Z toho vyplývá relativně vysoká cena ocelových výrobků. Pro příklad: průměrná cena kopí byla přibližně 51 g stříbra, kdežto cena ovce přibližně 20 g. [6] Kováři raného středověku byli tedy velmi váženými osobami a kovářství samotné bylo nejváženějším z tehdejších řemesel. Jak napovídají nálezy dílen (převážně z Dánska), nebylo nezvyklé, aby byl kovář zároveň šperkařem. I proto zastávali tito řemeslníci vysoké postavení na společenském žebříčku. Vzhledem k těmto faktorům, zvláště pak ke zmíněné náročnosti výroby, byly ocelové výrobky velmi ceněné a často se jich využívalo i k poukázání na bohatství jejich majitele. Příkladem pak mohou být zdobené sekery (např. zdobná sekera, nalezená v Mammen [1], Obr. 1-2), těžká, případně zdobná kopí a v neposlední řadě meče.



Obr. 1-2 Sekera z Mammen

Technologie slévárenská byla v této době využívána především k tvorbě uměleckých děl a šperků, opaskových a plášťových spon a podobných zdobných doplňků. Nacházely se zde jak doplňky s čistě praktickým účelem, jako např. plášťové jehlice, nebo jednoduché spony, tak odlitky mající za účel poukázat především na movitost majitele. V případě velmi drahých zakázek bývaly odlitky tvořeny ze zlata a stříbra, valná většina však byla odlévána ze slitin mědi, převážně z mosazi (občas nazývána „vikinský bronz“ [7]). Tento materiál byl totiž cenově dostupný i běžným méně movitým lidem a sám o sobě má zlatý nádech, který ve vyleštěném stavu připomíná zlato. I výrobky z těchto slitin se však často zdobily povrchovými úpravami z drahých kovů, obzvláště pak zlacením. Dílny slévačů a šperkařů vznikaly především v okolí obchodních center, zvláště kvůli přísunu drahých kovů (obzvláště stříbra) z obchodních cest. Nutno podotknout, že slévárenství, co se drahých kovů a slitin mědi týče, bylo odkázáno na import, jelikož barevné kovy nebyly běžně ve Skandinávii prakticky těženy. Výjimku tvoří měď, která byla částečně těžena ve Švédsku. Většina materiálu byl ale stále recyklován import ze Střední Evropy, v případě stříbra pak převážně z Arabských zemí přes Kyjevskou Rus. Materiálem k recyklování byly často rozbité nebo nevyužitelné kousky kovu, což nám dokazují mnohé nálezy truhel s tímto importovaným materiálem (např. nález ve Spilling na Gotlandu). [2] Tento import do Skandinávie měl prvpočátek ještě před rozpadem Římské říše.

1.2 Meče doby vikinské [2] [3] [8] [9]

Meče raného středověku můžeme hned v základu rozdělit na dvě hlavní skupiny, a to meče jedno a dvoubřité. Jednobřité meče tvoří, ač menší, tak podstatnou část nálezů. Na základě různých výkladů je možné se domnívat, že šlo o meče levnější, pravděpodobně pro méně movitou část obyvatelstva s nižším společenským postavením. Tyto zbraně pravděpodobně navazovaly na tradici čepelí germánských saxů (jednoruční krátký meč/tesák). [2]

Dvoubřité meče tvoří většinu nálezů doby vikinské. Tyto meče patřily bezesporu mezi nejprestižnější zbraně, které dávaly na odiv společenský status a movitost svého nositele. Meče byly zmiňovány v ságách, básních, mnoho slavných mečů mělo jména, jako například Mlýnkoseč krále Hákona, který král údajně zasekl do poloviny žernovu. [3] [8] Cena (pravděpodobně obvyčejnějšího) meče se mohla pohybovat okolo ceny 126 g stříbra,

pro srovnání cena krávy mohla být okolo 137 g. [6] Nicméně, u zdobného meče se mohla vyšplhat až k několikanásobkům této ceny. Zde lze zmínit meč krále Hákona, darovaný Höskuldurovi [10], který měl cenu půl marky zlata (až šestnácti dojných krav). Můžeme tedy s určitostí říct, že meč byla jedna z hlavních věcí, která mohla poukazovat na společenské postavení raně středověkého člověka. Vlastnění meče pak bylo vysloveně mužskou výsadou, existují pouze velmi výjimečné případy, kdy se meč našel v ženském hrobě. Dle ság mělo viditelné nošení meče též přispět k vyzdvihnutí mužnosti majitele. Ztráta meče pak byla vnímána velmi negativně a údajně se projevovala ztrátou mužnosti (jak z pohledu okolí, tak i fyzicky). [8]

Vzhledem k ceně a významu meče byly tyto zbraně obvykle děděny, případně darovávány jako jedny z nejcennějších darů, často zavazujících obdarovaného vůči dárci. Naopak po smrti se, pokud nezůstávaly děděny v rodu, dávaly do hrobů. Čepel byla v těchto případech často znehodnocena – zlomena, nebo zkroucena, takže meč nemohl být dále použit. [8]



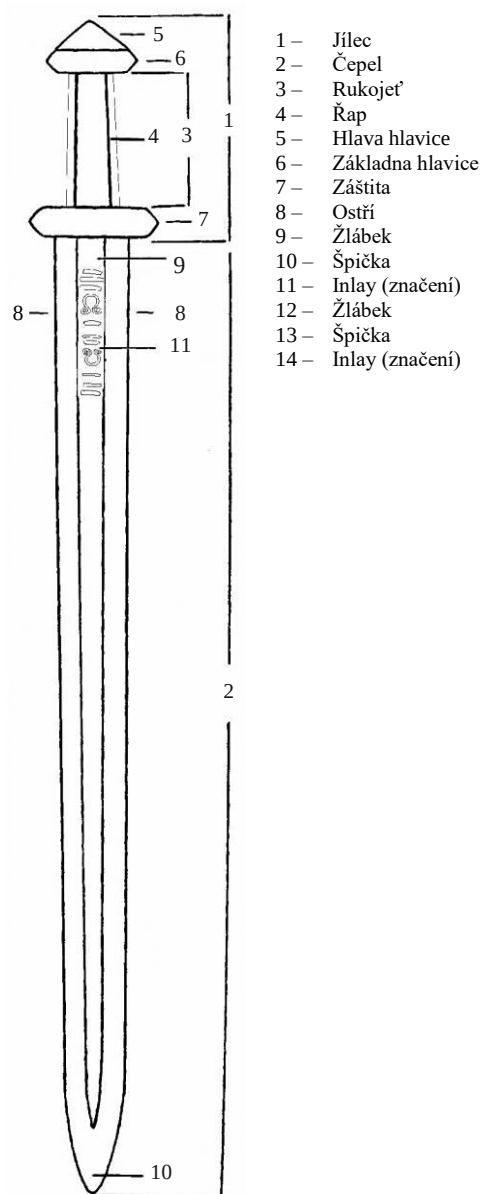
Obr. 1-3 Příklad zdobného jílece. Zdobení je tvořeno stříbrnou a měděnou tausii

Z technologického hlediska byl meč jednoznačně nejsložitějším ocelovým výrobkem. Jeho výroba zahrnovala komplexní využití nejrozličnějších řemesel. Pro čepel a jílec bylo potřeba zvládnout řemeslo kovářské, na zdobení záštity a hlavičky řemeslo šperkařské (Obr. 1-3), pro výrobu pochvy pak zručnost při práci se dřevem a v neposlední řadě práci s kůží. Je tedy velmi pravděpodobné, že byly různé části meče tvořeny různými mistry, aby se docílilo výsledku podle přání zákazníka.

Nejdůležitější částí meče, minimálně z funkčního hlediska, byla bezesporu čepel. K výrobě bylo třeba několikrát překout dodané ocelové pruty, aby došlo k dalšímu vyčištění oceli od nečistot a vměstků z výroby. Překládáním a kováním také docházelo ke stabilizaci vlastností materiálu, obzvláště k eliminaci vlivu nečistot ve formě příměsí různých prvků v jednotlivých vrstvách. Díky tomuto násobnému zkroucení a vytažení zpracovávaných prutů vznikala na meči po vybroušení a vyleptání kresba. Tato technologie je dnes obecně známá pod názvem „svárkový damašek“. Z dnešního pohledu se ale při tvorbě svárkového damašku kombinují vrstvy více ocelí s různými vlastnostmi, což není úplně případ čepelí raného středověku. Čepele samotné měly pak několik různých provedení. Můžeme se setkat jak s čepelemi tvořenými pouze ze „svárkového damašku“, tak s čepelemi z různě svařovaných prutů více a méně nauhličené oceli nebo „svárkového damašku“. Častým způsobem byla výroba čepelce ze tří prutů, kdy byla nauhličená ocelová ostří navařena na nízkouhlíkový (často překládáním vzorovaný) střed. [3] Později se začalo upouštět od vzorovaného středového prutu, který měl pravděpodobně zvláště dekorativní účel. Ten nahradily postupně značky mistrovských dílen, např. známé čepele z dílny ULFBERHT. Tvar čepelí je pro raný středověk typický. Dosahovaly v tomto období délky okolo 75–80 cm, celková délka mečů se pohybovala okolo 90 cm. Čepele byly relativně široké (okolo 5–6 cm), často se nijak příliš nezužovaly a zakončeny byly jemně tupou špičkou, z čehož lze usuzovat, že tyto meče byly uzpůsobeny primárně k sekání. Ke konci doby vikinské se pak postupně čepele začaly zužovat a prodlužovat.

Charakteristickým rysem byl dále také velmi široký středový žlábek, jehož účelem bylo zbraň odlehčit a ušetřit cenný materiál. Je potřeba také zmínit, že skandinávská ocel často nedosahovala potřebných kvalit, proto se u dražších mečů často můžeme setkat s importem ze střední Evropy, zvláště pak z Franské říše. Jednalo se o import mečů nebo případně samotných čepelí určených ke kompletaci ve Skandinávii. Jako příklad opět mohou sloužit slavné meče s nápisem ULFBERHT, vynikající svým kvalitním provedením čepelí.

Druhou částí meče byl jílec. Ten se skládá ze záštity, rukojeti a hlavice. Záštity měly většinou šířku kolem 10–11 cm, ke konci doby vikinské se ale projevoval trend jejich rozšiřování, kdy dosahovaly šířky až 16–17 cm. [2] Tvarem byly nejčastěji rovné, i když během 10. století se objevují i záštity zakřivené směrem k čepeli. Tyto typy do Skandinávských zemí pronikly pravděpodobně vlivem Anglosasů. Hlavice meče byla část odpovídající za jeho vyvážení. Skandinávské meče měly hlavice často dvoudílné, postupně se vyvíjely do jednodílných. Tato část meče nabízela největší možnost osobní úpravy jejího vzhledu a také se v průběhu času nejvíce měnila. Mezi hlavicemi můžeme vidět jisté téměř „standardizované trendy“, i těch máme ale mnoho druhů. Materiálem záštit i hlavic bývala nejčastěji



Obr. 1-4 Části meče

nízkouhlíková ocel. Výjimečně je možno nalézt i organické materiály, jako např. kost nebo dřevo. V některých případech se také můžeme setkat s jílcí zhotovenými odléváním, a to hlavně z mosazi. Tyto meče měly jílcce často odlity v jednom kuse. Většinou se zde jednalo o velmi zdobné a těžké meče (typ D Petersenovy typologie). [2] [3]

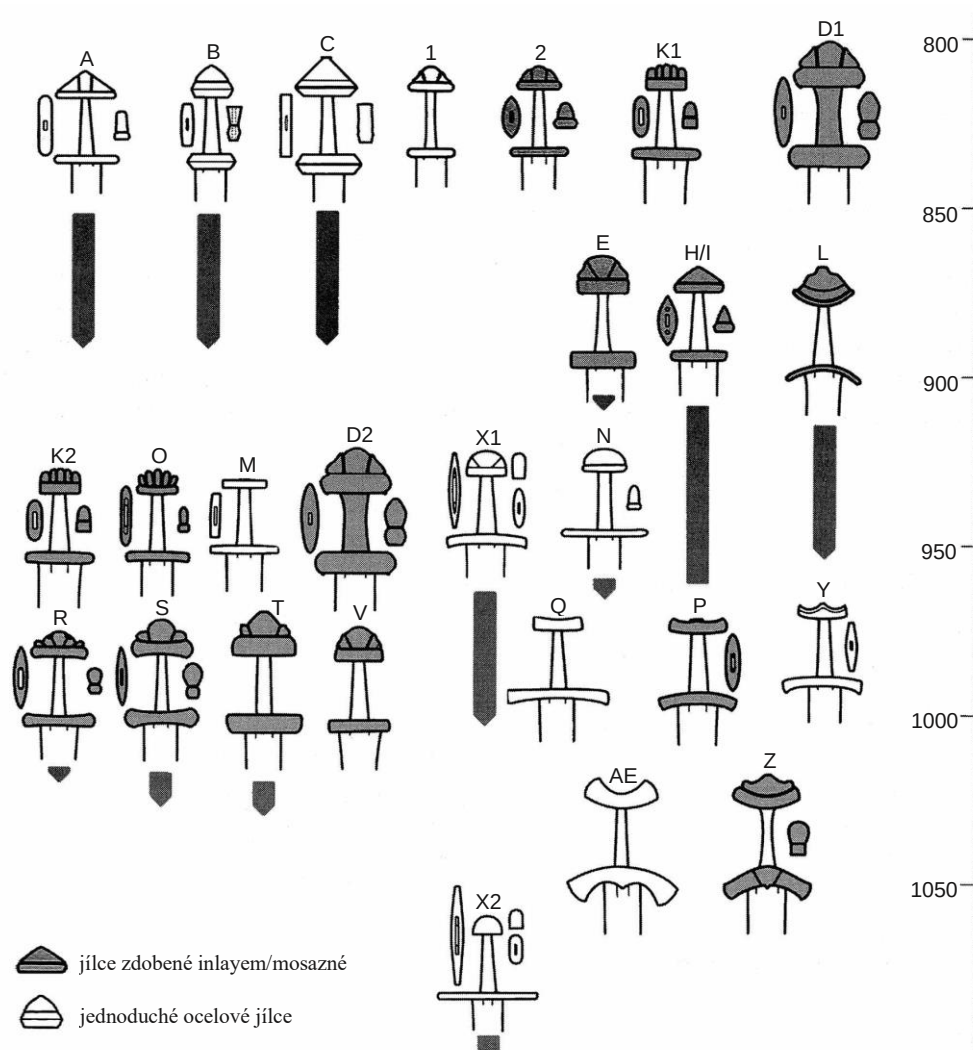
Rukojeti pak byly nejčastěji dřevěné, vzácně pak kostěné, kovové nebo drátěné. Dřevěné rukojeti byly v některých případech omotány kůží, koženými řemínky nebo provázekem.

Pokud byly jílcce zvláště zdobené, jednalo se zpravidla o zdobené rytými prvky. U dražších mečů se můžeme setkat ale také se zdobením drahými kovy. Zde vynikala technika tauzie a plátování. Tauzie je technika, kdy je do vyryté lineární drážky vtepán drahý kov. Drážka samotná je často na spodu rozšířena, takže vtepávaný kov pak v drážce drží velmi pevně a i po přebroušení a přeleštění je ve svém místě pevně zasazen. Tuto techniku můžeme najít na nemalém procentu mečů, jako drahý kov se zde nejčastěji používalo stříbro. Plátování je technika, kdy se tenký rozklepaný plíšek drahého kovu vtepává na celý zdrsňený povrch základního dílu. Tato technika se ovšem používala na mečích spíše výjimečně. Důvodem je bezesporu i horší fixování drahého kovu, který na povrchu drží daleko méně než při technice tauzování. Při plošném zdobení se tedy můžeme setkat i s použitím tauzie, kde jsou jednotlivé drážky velmi blízko u sebe, čímž tvoří velmi jemně proužkovaný povrch, popřípadě se využívá více druhů kovu (zvláště stříbro a měď), aby se vytvořily vzory. Dalšími technikami používanými při zdobení pak bylo například děrování nebo použití dekoračního zkrouceného drátu z drahého kovu (Obr. 1-5). [3] [9]



Obr. 1-5 Příklad jílcce zdobeného dėrováním

Typologie jílců byla v roce 1919 zpracována Janem Petersenem, který v ní rozdělil jílcce podle tvaru, způsobu zpracování a zdobení na 26 hlavních druhů (A–Æ) a 20 rozlišovacích, nebo speciálních poddruhů (1–20). Petersen ve své práci také zpracoval dataci mečů dle typologie. Zde je ovšem nutno poznamenat, že Petersen vycházel z norských nálezů, což může způsobovat problematické situace při aplikování této typologie na jiná než norská naleziště. Zvláště pak kvůli absenci některých typů jílců, které se na území Norska nenalezly, nebo kvůli exportu zbraní do zemí mimo Norsko. Pro meče z Kyjevské Rusi se proto často používá typologie a chronologie F. Androščuka (Obr. 1-6), který rozvedl a upravil Petersenovo dělení podle tamějších nálezů. [9] Dalšími rozlišovacími typologiemi je designová typologie Mikaela Jacobssona z roku 1992 a typologie Alfreda Geibiga z roku 1991. Nejvýznamnější a nejcitovanější ale stále zůstává typologie Petersena.



Obr. 1-6 Typologie jílců podle F. Androščuka

1.3 Meč typu D z hrobu C–2, Gnězdovo [9] [11]

Okolí malého města Gnězdovo je archeologickou oblastí, nacházející se přibližně 15 km od města Smolensk v Rusku. Na konci 19. století zde došlo k prvním větším archeologickým nálezům, datovaných do období raného středověku. Během první poloviny 20. století zde pak probíhaly další průzkumy, objevující stovky nových hrobů a dalších nálezů. Do konce 20. století bylo v této oblasti odhaleno přes 730 hrobů. [9] Obzvláště zajímavými nalezenými artikly jsou meče. Těch bylo v oblasti Gnězdova nalezeno několik desítek a mnoho z nich se vyznačuje zdobenými jílci. Druhy mečů zpracoval ve své práci Sergej Yu. Kainov.

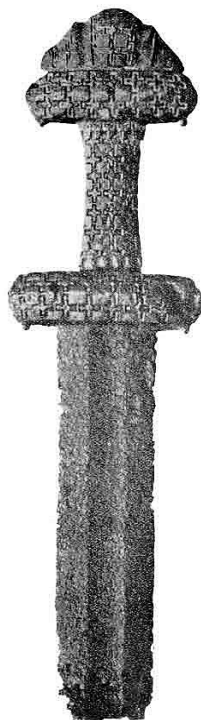
V této lokaci byl roku 1950 nalezen D. A. Avdusinem v hrobě C–2 meč Petersenova typu D. Tento typ mečů patří obecně mezi starší, datující se většinou spíše do první poloviny raného středověku. Podle Petersena se vyznačují vysokou hmotností, masivním provedením a bohatě zdobenými ornamenty na prvcích jílce. Tyto meče měly celé jílce většinou odlévány z jednoho kusu nebo zvlášť jednodílnou záštitu a hlavici. Jílce byly vyrobeny často z mosazi a byly zdobené bohatými ornamenty a povrchovou úpravou z drahých kovů (Obr. 1-8 a Obr. 1-9). Mezi množstvím nalezených mečů jsou meče s těmito jílci ojedinělé, a navíc ve většině případů originální. Z toho lze vyvodit, že šlo o velmi drahé, na zakázku a unikátně vyráběné zbraně, objednávané velmi vysoce postavenými osobnostmi. Vzhledem k jejich mohutnosti

a bohatému zdobení můžeme také usuzovat, že často nemuselo jít ani o zbraně, jejichž účelem bylo bojové nasazení. Primárním účelem těchto zbraní mohlo v tomto případě být vyzdvihnutí postavení jejich nositele, mohly tedy plnit úlohu jistých insignií.

Meč typu D z Gnězdova je ale výjimečný i na tuto už tak výjimečnou kategorii. Tento meč je vyrobený později než většina ostatních mečů typu D. Jeho stáří je datováno přibližně do první poloviny desátého století. Oproti ostatním typům D také nemá v kuse odlité prvky jílice, ale zástita i hlavice jsou vyrobeny zvlášť a z více dílů. Posledním rozdílem oproti většině mečů tohoto typu jsou vzory na jílici, které také nekorespondují s žádným dalším mečem stejného zařazení. Jedná se tedy v tomto směru o velmi unikátní kus. Také je potřeba si povšimnout náročnosti provedení. Zástita je zhotovená z několika kusů, zvláště vzorovaných plíšků na povrchu spodní, nosné části. Hlavice je pak sletovaná ze čtyř bohatě vzorovaných dílů. Celá ornamentovaná mosazná konstrukce je pak dále pozlacena, hlavice navíc dozdobena krouceným drátem ze žlutého kovu. [9] Použité vzory na stranách zástity a hlavice jsou velmi podobné vzorům na fibulích (skandinávské ženské zdobné oděvní spony – Obr. 1-7) typu 37 a 51 (podle Petersena), které byly ve Skandinávii produkovány. Zvláštní podobnost tyto vzory mají s výrobky produkovány na švédském ostrově Gotland. Nicméně rozšířenost těchto vzorů ještě nutně nemusí odkazovat na skandinávský původ meče. Co ale S. Yu. Kainov považuje za stěžejní jsou rytiny na spodní a vrchní části zástity a spodní části hlavice (Obr. 2-6, bod 3). Ty mají údajně podobnost s rytinami, objevujícími se na zadních stranách právě gottlandských fibulí. Kainov z toho vyvozuje, že byl tedy tento meč vyroben na Gotlandu. [9] I v případě, že budeme zastávat konzervativní pohled a pomineme tedy situování původu tohoto meče až na švédský Gotland, musíme připustit, že se jedná o velmi unikátní zbraň, odlišující se od většiny standardů mečů, které z toho období a této lokality známe. Můžeme tedy předpokládat, že se jedná o precizní zakázkovou práci, která byla zadána člověkem, který chtěl poukázat na svoje postavení, moc a bohatství tím, že si pořídil meč, jaký v pravdě neměl ve své době obdoby.



Obr. 1-7 Fibule



Obr. 1-8 Meč typu D podle Petersena



Obr. 1-9 Meč typu D z Hrobu C-2, Gnězdovo

2 MOŽNOSTI HISTORICKÉ REKONSTRUKCE

Při rekonstruování historických nálezů se potýkáme s několika problémy. Prvním bývají špatně dostupné předlohy, které bývají uloženy v depozitářích muzeí nebo jiných paměťových institucí a nejsou běžně veřejnosti přístupné. Druhým problémem je autentičnost repliky. Moderními technologiemi je možné vyrábět repliky jednodušeji, ale autentičnosti se můžeme maximálně přiblížit jedině použitím dobových technologií. U replik určených pro muzejní účely je dokumentace takové výroby využitelná nejen pro odborné zpracování, ale i pro expoziční účely. Při výrobě repliky je tedy nutno zvážit použitou technologii podle situace. Z moderních technologií by mohla mít do této oblasti přínos technologie 3D skenu a 3D tisku. Správným použitím těchto technologií může vzniknout poměrně přesná kopie. Zároveň jde o technologie nedestruktivní, což je výhodou např. oproti otiskování nálezu do různých formovacích směsí.

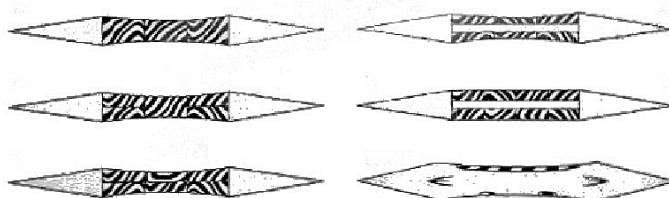
2.1 Kovářství [8] [12] [13]

Kovářská část práce na meči byla často většinová, jelikož jak části jílce, tak čepel byly obvykle vyráběny z oceli. V případě rekonstrukce meče typu D z Gnězdova byl ale jilec zhotovený litím, proto je potřeba zmínit pouze výrobu čepele.

Práce kováře začínala u zpracování ocelových prutů. Tomu ovšem předcházelo získávání oceli. Pokud nepočítáme vliv importu, v případě Skandinávie se ocel získávala především z rud z bažin. Po získání ocelové houby redukcí v hliněných pecích za pomoci uhlí musela být houba několikrát překována a zbavena nečistot – strusky a vměstků. Po „vyčištění“ byla ocel překována do tvaru prutů, které dále putovaly ke kováři. Ten poté pruty dále svařoval a překovával (Obr. 2-1). Pro většinu aplikací byla používána nízkouhlíková ocel – v historických, anglických a obecných pracích je často kvůli nízkému obsahu uhlíku (obvykle přibližně okolo 0,2 %) označována za „železo“ (iron). Tato ocel byla měkká a houževnatá. Více nauhličená, ale stále podeutektoidní ocel (přibližně okolo 0,4–0,7 % uhlíku), byla obecně využívána méně, zvláště proto, že bylo potřeba zvládnout technologii kalení a popouštění, aby se mohlo využít jejích vlastností. Proto byla využívána převážně na zhotovování ostří sečných a řezných nástrojů. S nadeutektoidní ocelí se pak setkáváme velmi vzácně, výjimku tvoří originální čepele ULFBERHT (nápisy bývaly často kopírovány), které se vyznačují vyšším obsahem uhlíku (většina nad 1 %). Tuto výjimečnost je možné vysvětlit jako vliv importu z Blízkého Východu přes Kyjevskou Rus. [13]



Obr. 2-1 Příklad překládaného jádra



Obr. 2-2 Příklady průřezů raně středověkých čepelí

Složení samotné čepele meče pak bylo složité, často byla důmyslně skládaná z různých vysoko a nízkouhlíkových ocelových prutů (Obr. 2-1 a Obr. 2-2), aby kovář dosáhl ideálních vlastností meče – co možná největší tvrdosti ostří při zachování vysoké houževnatosti a pružnosti čepele jako celku. [12] Tyto vlastnosti byly u dražších mečů velmi ceněny a takové čepele byly podrobovány často různým druhům zkoušek. Příkladem takové zkoušky může být požadavek, aby bylo možno čepel ohnout do oblouku bez trvalého následku. [8]

V rámci historické rekonstrukce by kompletní výroba čepele dobovým způsobem mohla trvat v řádech desítek až několika stovek hodin. Proto se při běžných rekonstrukcích u mečů, určených pro reenactment (ztvárňování historie nadšenci – oživlá historie) a pro praktické využití např. v historickém šermu, výrobci většinou uchylují k opatřením, snižujícím jak náročnost, tak cenu. Často se můžeme setkat s čepelemi pouze vybroušenými z ocelových polotovarů vypálených plazmou, v lepším případě s polotovary překutými. Dražší repliky bývají už kované z jednoho kusu, jejich cena se ovšem pohybuje kolem dvoj až trojnásobku ceny čepelí vypalovaných. Ještě dražší variantou bývají meče s čepelemi ze svárkového damašku, nebo z často vzorovaného prutu z nízkouhlíkové oceli na středu čepele a navařených ocelových ostří s vyšším obsahem uhlíku. Repliky vyráběné dobovou metodou zhotovuje pouze několik málo výrobců. Tyto čepele jsou vyráběny bez použití moderních nástrojů, od vytavení ocelové houby a ručního překutí, přes vykutí čepele až po ruční opracování a nabroušení čepele. V rámci ČR je nutno v tomto kontextu zmínit pravděpodobně nejlepšího českého a celosvětově uznávaného mečíře Patrika Bártu. Meče vyráběné těmito dobovými technikami mohou mít cenu okolo několika set tisíc korun a většinou jsou pořizovány zahraničními sběrateli nebo muzei, která dbají na absolutní věrnost provedení.

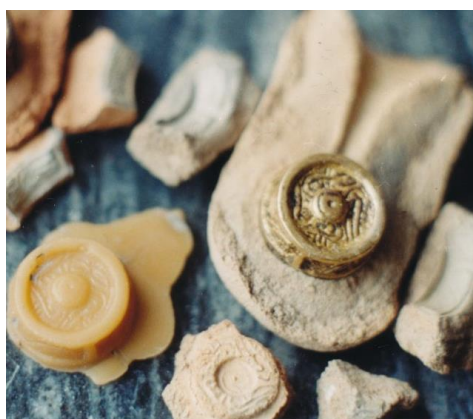
2.2 Odlévání

V rámci rekonstrukce gnězdovského meče typu D je odlévání stěžejní částí práce. Odlévání je záštita i hlavice, a to navíc z několika jednotlivých dílů. Proto je třeba věnovat této technologii zvláštní pozornost.

2.2.1 Vzory a tvorba modelů

V rané době vikinské se můžeme setkat s několika možnostmi tvorby modelů výrobků, určených pro výrobu formy. Běžně byly používány technologie, z nichž vycházíme ještě v dnešní, moderní době, zejména pak u uměleckých slévačů. Jedná se zvláště o tři hlavní metody. První je tvorba vlastního (voskového) modelu, druhou rytí přímé nebo matečné formy a třetí kopírování už vytvořených součástí.

Tvorba modelu požadovaného výrobku je jednou z hlavních užívaných metod. Předpokládá se, že většina modelů byla tvořena ze včelího vosku (Obr. 2-3), ačkoli není možné vyloučit ani tvorbu z jiných materiálů, jako např. ze dřeva. Model je vhodný zejména v případě tvorby různých 3D plastik. Příkladem, kdy by se tato technologie dala využívat, mohou být různé plášťové a opaskové spony nebo podobné doplňky. Dle experimentálního archeologa



Obr. 2-3 Příklad voskového modelu



Obr. 2-4 Kamenná forma



Obr. 2-5 Příklad kopírování

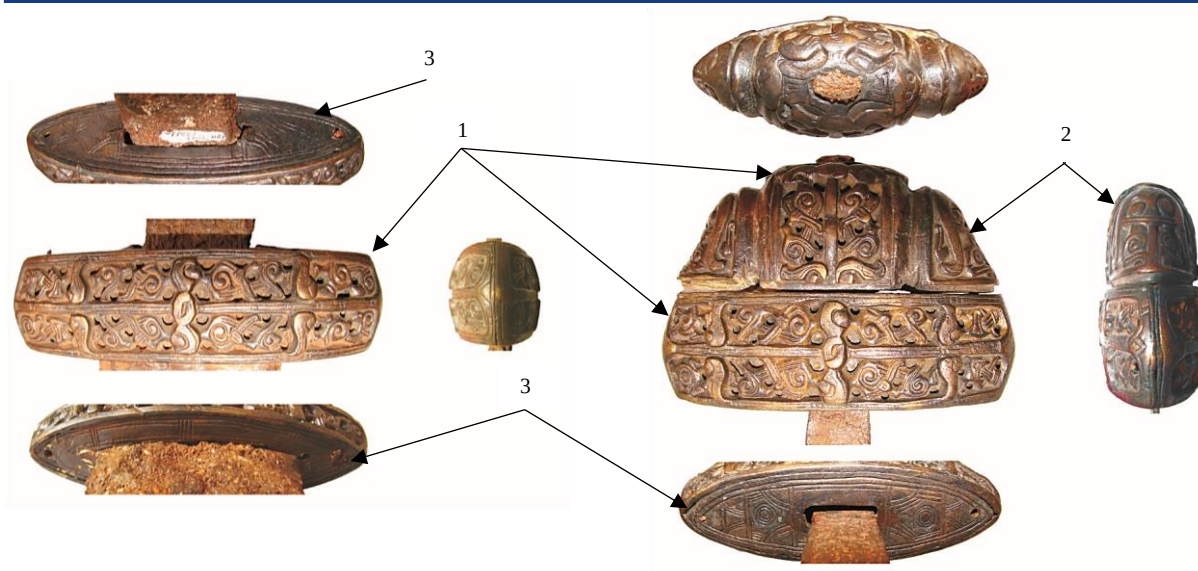
Anderse Söderberga jistotu, že byl použit voskový model, má ale sám pouze u jedné spony, na které jsou patrné stopy od rycího nástroje. I přesto můžeme tuto metodu považovat za rozšířenou a ve vikinské Skandinávii za běžnou a dobře zvládnutou. Sám Söderberg říká, že ačkoli je včelí vosk na zpracování náročný (zvláště pak kvůli jeho lepivosti), po delší době je možné práci s ním ovládnout natolik, že lze tvořit i voskové modely s vysokými detaily zdobení.

Druhou metodou tvorby modelu je metoda rytí matečné formy (pro odlití voskového modelu), tzn. rytí negativu (Obr. 2-4). Do ryté matečné formy je lit rozehrátý vosk, po jeho ztuhnutí je z formy vyjmut voskový model. Voskový model může poté být dále ještě upraven pro vylepšení detailů. Takto vytvořená forma nemusí sloužit pouze pro odlévání vosku, ale je možné ji využít i přímo k odlití požadovaného kovu. Materiály, do kterých byl negativ ryt byly nejčastěji obyčejný kámen, břidlice nebo vyschlá hlína. V případě méně detailních modelů mohl být využíván mastek. Tento měkký a snadno opracovatelný druh kamene byl též převážně v Norsku a vikinská společnost jej využívala k různým aplikacím poměrně často (např. k výrobě nádob). [3] Technologie rytí matečné nebo přímé formy se dá využít zvláště u plochých, jemně a složitě vzorovaných součástí, u kterých by bylo příliš komplikované tvořit voskový model.

Poslední metodou je možnost kopírování hotových součástí. S jistotou můžeme říct, že metody kopírování hotových výrobků byly ve Skandinávii raného středověku hojně využívány. Svědčí o tom zvláště velké množství kopií ženských broží – fibulí. Že lze v mnoha případech jít o kopie původních výrobků můžeme poznat jak díky velkému množství stejně vzorovaných šperků, tak díky tomu, že kopírované součásti se postupně vlivem smršťování hliněných forem zmenšují. Pořízení kopie součásti můžeme dosáhnout dvěma způsoby. Prvním je otisk do hlíny, který je hned po otisknutí vylit voskem, čímž získáme voskový model. Toto řešení umožňuje vytvořit velké množství modelů podle jednoho vzoru za relativně krátkou dobu. Druhým řešením je otisk kopírované součásti do formovací směsi a tím přímé vytvoření jedné strany formy (Obr. 2-5). Toto řešení je časově náročnější, protože musí dojít k alespoň částečnému zaschnutí formovací hlíny, do které je součást otiskována. Obě metody bývaly pravděpodobně využívány. Výhodnější variantou je ale výroba voskového modelu přes otisk ve hlíně, která zaručuje větší rychlost práce a možnost jednoduchých úprav na pozitivním voskovém modelu. Přesto je ale třeba brát v potaz cenu vosku a jeho pouze sezónní dostupnost.

V případě rekonstrukce meče z Gnězdova vyžaduje tvorba modelů komplexní přístup. Jílec samotný je tvořen z několika k sobě připevněných dílů. Rozdělit je můžeme na tři části: vnější vzorované plíšky, boční vzorované části hlavice a vnitřní základní konstrukci (kostu). Vnější vzorované plíšky jsou první a nejzajímavější částí jílice. Plíšky se nalézají na bocích záštity, bocích spodní části hlavice (základny) a na prostřední části vrchní části (hlavy) hlavice (Obr. 2-6, bod 1). Tyto plíšky jsou velmi jemně a hustě vzorovány. Vezmeme-li v potaz i tvar a charakter vzorů, je možno s velkou pravděpodobností usuzovat, že je zde vhodné použít technologii přímého rytí formy. Charakterem vzorů je v tomto případě myšlen tvar samotných linek. Podíváme-li se detailně na vlastní vzory, zjistíme, že linky vzorů jsou zakulatěny směrem nahoru, kdežto prohlubně a mezery mají velmi „ostrý“ charakter. Ten charakteristika vzniká při rytí negativního modelu, kdy rycí nástroj vytvoří oblý tvar výstupků vzoru a zároveň nechává ostré prohlubně na výsledném pozitivním ornamentu. Pokud by byl tvořen model

z vosku, bylo by daleko náročnější uspokojivě zakulatit vystouplé vzory a zároveň by bylo potřeba velmi ostrého a tenkého nástroje pro tvorbu hlubokých a úzkých prohlubní. I pokud bychom pominuli charakter vzorů a jejich tvar, postupovat zde metodou voskového modelu by bylo velmi složité a vzhledem k „lepivému charakteru“ včelího vosku velmi obtížně uskutečnitelné. Proto lze předpokládat, že originál byl ryt, a to pravděpodobně do kamene nebo břidlice (podobně, jak na Obr. 2-4).



Obr. 2-6 Detail záštity a hlavice meče typu D z Gnězdova

Dvě boční vzorované části se nachází na hlavě hlavice (Obr. 2-6, bod 2). Jde o plné kusy se zdobným vzorem na bocích. Vzhledem k tvaru součásti už zde nelze s tak dobrým výsledkem použití techniku rytí formy, jako v předchozím případě. To, že zde byla původně použita technika modelu naznačuje i charakter vzorů, které jsou sice tvarem podobné vzorům z bočních plíšků, nicméně vzory zde mají ostřejší hrany a zakulacenější rýhy, což nasvědčuje tomu, že zde byly vyryty mezery, nikoliv samotné vzory.

Posledními litými součásti jsou díly vnitřní kostry. Tato součást je nejtěžší na její rekonstrukci, protože je pečlivě zakrytá vzorovanými a zdobnými prvky. Ač zde chybný úsudek při volbě způsobu rekonstrukce nemusí být na první pohled vidět, může mít vliv na výsledné vlastnosti meče. Z analogií výroby mečů z raného středověku a celkové váhy dochovaného meče můžeme usuzovat, že je záštita a základna hlavice dutá. Tudíž je vnitřní kostra tvořena skořepinou. Také je potřeba brát v potaz, že vrchní a spodní díl musí mít výřez, kterým vede řap čepule a který musí fixovat záštitu na řapu proti pootočení. Jak byl tento díl navrhován se můžeme pouze domnívat. Při návrhu rekonstrukce modelu je pak potřeba v první řadě zachovat známý (viditelný) tvar.

2.2.2 Možnosti formování [7] [14] [15]

Výrobu forem v raně středověké Skandinávii můžeme rozdělit podle tří hlavních intuitivních kritérií. Prvním kritériem je druh formy, druhým pak její materiál a posledním formovací technologie.

• Druh formy

Mezi druhy formy řadíme formy dvoudílné a jednodílné, které můžeme dělit na otevřené a uzavřené.

Prvním druhem formy jsou formy jednodílné. Uzavřená jednodílná forma má využití pouze pro technologii ztraceného vosku. Forma je tvořena na vytavitelném modelu, je z jednoho kusu a po odlití je třeba ji rozbít, většinou za použití nemalé síly. Tento druh není příliš vhodný pro jemné a složité odlitky, kdy může hrozit rozbití výsledného odlitku při jeho extrakci. Druhým problémem této formy je odvod plynů, vznikajících při nalití horkého kovu. Ve Skandinávii raného středověku se totiž u forem prakticky téměř nesetkáváme s odvzdušňovacími kanálky,

proto musí plyny unikat buď nalévacím kanálkem, nebo skrze stěny formy, což může být problematické. Druhou možností je jednodílná forma otevřená. Zde je forma tvořena pouze spodní stranou a materiál je do ní lit seshora. Ač je toto nejjednodušší způsob, je nutno podotknout, že jeho velkou nevýhodou může být oxidace hladiny tekutého kovu („zadní strany výrobku“) a též její zakulacení po zatuhnutí způsobené nedokonalou smáčivostí formy tekutým kovem. Proto by u tohoto způsobu lití bylo nutno zadní stranu dále opracovávat, což by nebylo z časového hlediska výhodné. Druhou nevýhodou pak je špatná kontrola výsledné tloušťky výrobku. Tento způsob by tak mohl být využit v případech, kdy nezáleží na tloušťce výsledného odlitku a zároveň není důležitá kvalita povrchu zadní strany.

Dvoudílná forma je, jak název napovídá, tvořena ze dvou dílů. Forma je tvořena postupně. Do první půlky je nejdříve otisknuta čelní, více vzorovaná strana modelu, pokud model čelní stranu má. V druhé části se vytvoří druhá půlka, která tvoří zadní stranu formy. Tento způsob je nejuniverzálnější a dá se využít pro většinu materiálů i formovacích technologií. V rámci rekonstrukcí může být jeho velkou výhodou zvláště snadné otevření formy po odlití bez rizika poškození odlitku při vyjímání. Söderberg uvádí, že se často po ochlazení forma otevře vlivem smrštění tuhnoucího kovu sama. [15] Další výhodou tohoto druhu formy může být, že při výrobě formy vzniká na dělicí rovině malá mezera, která může napomoci odvodu plynů z formy i bez vytvoření odvodňovacích kanálků.



Obr. 2-7 Dvoudílná forma na fibuli

• Materiál formy

Dvěma základními materiály pro formy v raném středověku byly kámen a jíl. Třetím materiálem mohl být písek, nicméně o používání pískových forem nemáme žádné důkazy a veškeré nálezy napovídají tomu, že se ve Skandinávii doby vikinské tento materiál k výrobě forem samostatně nepoužíval.

Kamenné formy byly často využívány jako buď otevřené, nebo s pouze krycí zadní stranou, která nebyla vzorována. Vzor musel být v tomto případě ryt v negativu přímo do podkladu, do kterého pak byl přímo lit roztavený kov. Jako materiál byla často používána břidlice, případně se hojně využíval mastek, který se výborně opracovával.

Hliněné formy oproti tomu nabízí daleko větší možnost využití, protože umožňují zaformovat prostorový objekt. Jejich největší výhodou je rychlejší výroba a možnost tvořit kopie už hotových výrobků. Hliněná směs se skládala z jílu, který tvořil pojivovou složku jemného křemenného písku, který plnil úlohu ostřiva. Jako zpevňovací materiál a lehčivo byl přidáván kravský nebo koňský trus, který obsahuje rostlinná vlákna ideální délky 1–5 mm. [7] U hliněných forem je potřeba, na rozdíl od kamenných, počítat se smrštěním formy při schnutí, a to přibližně kolem 2 %. Schnutí by mělo trvat delší dobu a mít pozvolný průběh. Po vysušení je třeba formu ještě vypálit – vyžít, aby se docílilo vytvrzení a odpaření veškeré chemicky vázané vody. Ta by jinak mohla způsobit prasknutí formy při velké expanzi, způsobené šokovým zahřátím a odpařením vody po naplnění formy roztaveným kovem. Pro ideální zatečení litého materiálu by měla zůstat forma nahřátá po vypálení na teplotu 700–800 °C až do nalití. [7]

• Formovací technologie

Mezi formovací technologie řadíme tvorbu formy na pevný model nebo metodou ztraceného vosku. Teoreticky by bylo také možné zařadit mezi ně možnost výroby formy rytím do kamene, kdy je forma tvořena přímo bez modelu.

Metoda výroby formy na pevný model spočívá v otisknutí modelu do formovací směsi, kdy se po udusání nebo zatuhnutí směsi model odstraní. Tato metoda je použitelná prakticky pouze pro formu dvoudílnou, popř. pro formu otevřenou. Vhodnost této metody vidíme zvláště při aplikacích, kde se využívá velký model, tvořený většinou z kovu nebo dřeva a při využití sypkých formovacích směsí, např. na bázi písku. V tomto případě se zhotovuje nejdříve jedna půlka formy, pak se vytvoří druhá, samostatná, obě poloviny se oddělí a model je vyjmut. Poté se forma opět zkompletuje a je připravena k lití. Tato technologie ovšem pravděpodobně nebyla v době vikinské známa. Proto tuto technologii můžeme vidět aplikovanou spíše u kopírování předem hotových odlitků (zvláště pak fibule), a to při použití hlíny jako formovacího materiálu, což je podstatně náročnější než při použití směsí na bázi písku.

Formovací technologie metodou ztraceného vosku je založena na voskovém modelu, kolem něhož se vytvoří forma. Vosk je následně po zahřátí formy roztaven a vypuštěn nebo v některých případech varem odpařen. V moderních aplikacích se s touto technologií můžeme setkat v případě odlévání přesnějších a detailnějších součástí, u kterých není třeba větší množství následných obráběcích operací. Tato technologie je složitější a dražší, nicméně v dnešní době se využívá možnosti seskládat více voskových modelů do stromečku, čímž je možné docílit větší ekonomičnosti a efektivity výroby. Další výhodou této technologie je v současné době bezesporu možnost použití různých materiálů pro tvorbu modelu. Nemalou roli zde hrají zvláště plasty, které se dají tisknout na 3D tiskárnách. Model lze v těchto případech kompletně vytisknout a po malých úpravách povrchu zaformovat. Později se model nechá zahřátím vytéct nebo vypařit. Z pohledu dobové technologie doby vikinské byla tato metoda při použití včelího vosku hojně využívána, a to jak pro formy jednodílné, tak dvoudílné. Největší výhodou této technologie z tehdejšího úhlu pohledu byla velká efektivita práce, zvláště pak při kopírování předlohy. Její další velkou výhodou je bezesporu to, že vosk ve formě zůstává až do jejího vypálení. Tím zabraňuje, aby byl vnitřní povrch formy při schnutí vystaven vzduchu a byla skrze něj odpařována voda. Tyto faktory by totiž mohly výsledný vnitřní povrch poškodit, zvláště kvůli rychlejšímu vysychání a smršťování hlíny na povrchu, což by mohlo způsobovat jejich praskání. Anders Söderberg experimentálně prokázal, že výsledný povrch odlitků, při kterých byla použita metoda vytavitelného modelu, je v případě použití hliněné formy několikrát lepší než v případě použití otisku modelu. [15]

Pokud máme srovnat obě výše zmíněné metody, technologicky lépe vychází metoda vytavitelného modelu. Zvláště pak v případě sériové výroby a kopírování tato metoda, oproti metodě přímého otisku předlohy, mohla být několikanásobně časově efektivnější. Anders Söderberg poměřoval efektivitu práce při tvorbě forem pomocí otisku originálu a pomocí voskového modelu při použití hlíny jako formovacího materiálu. Při využití voskového modelu bylo možné vytvořit během tří hodin sedm forem, zatímco v případě otisku modelu bylo třeba celé tři hodiny čekat, než forma dostatečně zaschla a bylo možno model odstranit. [14] V případě tohoto pokusu je ale třeba brát v potaz, že sériová výroba, přestože je potvrzen její výskyt, nebyla běžnou záležitostí. Také cena vosku jakožto sezónní komodity byla vyšší, proto není možné jednu ani druhou metodu vyloučit nebo ji označit jako většinovou. Je možné ovšem předpokládat, že se tyto technologie mohly často i doplňovat. Příkladem může být kopírování výše zmíněných fibulí. Zde pravděpodobně mohla probíhat sériová výroba tak, že byla čelní vzorovaná strana fibule vytvořena otiskem a poté překryta voskovaným plátnem, na kterém byly vymodelované voskové prvky k uchycení zadní strany na oblečení. Na tento z půlky voskový, z půlky pevný model byla pak vytvořena zadní stěna formy. Před litím byla forma

otevřena, plátno vyjmuto a vosk vytaven. Komplexní popis této výroby zpracovává Söderberg. [15]

2.2.3 Druhy slitin a možnosti tavení [7] [16]

Mimo odlévání drahých kovů, zvláště pak stříbra, se v raně středověké Skandinávii hojně využívaly k odlévání slitiny mědi. Hlavním důvodem byla nižší cena, což tvořilo z takto vytvořených šperků, ozdob a nástrojů artikly, dostupné i pro méně movité členy společnosti. Vedlejším důvodem oproti drahým kovům mohla být i vyšší pevnost. Díky té bylo možno tvořit tenčí a detailnější odlitky bez rizika jejich poškození používáním.

Slitiny mědi můžeme rozdělit na bronzы a mosazi. Bronz je slitina mědi a přibližně 10 % cínu. Ve Skandinávii bronzы ovšem nacházíme velmi vzácně, i přesto, že ve Švédsku se měď omezeně těžila a bylo možné tedy bronz v menší míře vytvářet. Pokud se bronzové výrobky nachází, pak často pak s příměsí olova, které se záměrně zároveň s cínem používalo ke zlepšení licích vlastností (zvláště zabíhavost), případně se mohlo do slitin dostat vlivem nečistot v rudách.

Valnou většinu nálezů pak tvoří mosazi. Jako mosaz uvažujeme slitinu mědi a 30–40 % zinku. Nutno poznamenat, že těchto procentuálních hodnot zinek v nálezech prakticky nedosahuje. Většina slitin, nalezených z období vikinské Skandinávie tvoří různě upravené slitiny mědi, zinku, cínu a olova. Slitinu mědi, cca 10 % zinku a cca 10 % cínu nazýváme dělovina, slitinu mosazi s olovem olovněná mosaz a jejich kombinaci olovněná dělovina. Tyto slitiny byly velmi oblíbené, zvláště pak díky výborným licím vlastnostem mosazi. Mosaz má oproti bronzu delší dobu tuhnutí a nižší viskozitu v tekutém stavu, takže lépe zabíhá a zároveň umožňuje odchod plynů a par i bez použití odváděcích kanálků. Takto lze vysvětlit až 1 mm tenké a vysoce složité vzorované svrchní plátky fibulí, které by jinak bylo téměř nemožné dobovými technologiemi vyrobit.

Mosaz se do Skandinávie dostávala pouze importem ze střední Evropy, kde se vyráběla už v dobách Římské říše. Získávala se tavbou mědi se zinkovou rudou, přičemž došlo k odpařování zinku a jeho následného provázání s mědí. Do Skandinávie se tato mosaz pak dostávala především ve formě odpadu, úlomků a zbytků. Dále byla přetavována a znova využívána. V důsledku opakovaného tavení mosazí docházelo však k odpařování zinku a postupnému ztracení dobrých licích vlastností mosazi, zvláště pak k snižování zabíhavosti a zvyšování viskozity. Jednou z teorií tedy je, že důsledku zhoršování těchto vlastností, bylo přidáváno do mosazí olovo a cín, aby se alespoň částečně zachovaly její původní vlastnosti. Toto by vysvětlovalo častou přítomnost olova a cínu v mosazných slitinách. Tento jev ale lze také vysvětlit mícháním importovaných kusů mosazi s bronzы, případně jej lze také přisoudit vlivu nečistot v rudách. [7]

V případě meče typu D z Gnězdova nebyla bohužel doposud provedena analýza slitiny, proto je v případě volby materiálu nutno vycházet z analogií. Jako přehled materiálů může sloužit práce Roberta H. Tykota z University of South Florida, ve které zkoumá metodou XRF (X-Ray Fluorescence, což je metoda spektrální analýzy) 28 nálezů, uchovaných v norském Stavanger Museum. Průměrně tyto vzorky obsahují okolo 81 % mědi, 12 % zinku a okolo 2,8 % olova a cínu (Tabulka 2-1, celá tabulka viz. Příloha 1). Při volbě slitiny mědi je tedy potřeba vycházet především z hodnoty 10–30 % zinku, případně lze do slitiny přimíchat stopové množství olova a cínu. [16]

Tabulka 2-1 Obsahy prvků ve slitinách raného středověku [16]

[%]	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Fe
Průměrná hodnota	81,1	11,87	0,4	2,83	2,7	0,44
Maximální hodnota	92,1	24,3	2,6	15,9	17,4	2,6
Minimální hodnota	65,6	2,8	0	0,3	0,4	0

Tavení slitin probíhalo v keramických kelímcích, jimž dodával tepelnou odolnost křemičitý písek, který se do hlíny přidával. Důvodem přidávání písku byla zvláště horší kvalita skandinávských jílu, které měly nižší tepelnou odolnost a delší setrvávání v tavicí peci by nebyly schopny zvládnout. I v případě přidání písku byly tyto kelímky ale vhodné k jednomu, nejvýše dvěma použitím. V případě použití kameniny místo jílu mohou být tavné kelímky použité i vícekrát. [7]

Tavné kelímky byly nahřívány v jednoduchých pecích, do kterých byl vháněn vzduch dvěma měchy. Pícky většinou nebyly nijak vysoké a často se jednalo spíš o jakési díry v zemi. Jako palivo se používalo dřevěné uhlí. [7]

Při rekonstrukci jílice meče ale na materiálu tyglíku ani na peci tolik nezáleží. Výsledný produkt by neměl být volbou pece a tavného kelímku příliš ovlivněn, proto na tuto část není třeba tolik brát zřetel při volbě postupu rekonstrukce.

2.3 Možnosti spojování jednotlivých částí [9]

V rámci spojování dílů jílice Gnězdovského meče nás zajímají především technologie jako je pájení nebo nýtování. Technologii, kterou by bylo možno ještě teoreticky zmínit je technologie lisování. Její užití je však relativně sporné. Části jílice jako záštita i hlavice byly vyráběny tak, aby přesně seděly na vykovanou čepel meče, případně se mohlo jednat o spojení s malým přesahem, nicméně nazývat tento proces přímo lisováním by mohlo být mírně zavádějící. Proto tuto technologii není třeba rozebírat detailněji.

2.3.1 Pájení [17] [18] [19] [20]

S měkkým i tvrdým pájením se v době vikinské můžeme setkat poměrně často. O znalosti této technologie svědčí jak nálezy pájených předmětů, tak pomůcky, které byly k tomuto druhu spojování používány.

Měkké pájení bylo prováděno pravděpodobně nejvíce cínem. O používání této technologie svědčí zvláště keramické nahřívací „tácky“, ve kterých se pájený model nahřál. Jako tavidlo se pravděpodobně užívaly směsi obsahující vinný kámen a jako spojovací materiál směsi cínu. [17]

Tvrdé pájení – letování se také využívalo poměrně často. Setkat se s ním můžeme především na předmětech, jako jsou závaží, která se využívala v obchodu a jejichž ocelová jádra byla obalena tenkou, maximálně milimetrovou vrstvou měděné slitiny. [18] Dalšími běžnými letovanými součástmi, se kterými se lze setkat mezi nálezy velmi často, byly kravské plechové zvony nebo ocelové visací zámky. Ty byly vyráběny ze dvou kusů, které se poté sletovaly dohromady, nejčastěji mědí, mosazí nebo jejich obměnami. Při pájení šperků se letovalo stříbrnou směsí.

V případě použití letování, např. u výše zmíněných visacích zámků, se využívala speciální technologie. Letované kusy se daly k sobě a spoj se omotal tence vykováním měděným

plíškem. Pokud byl výrobek dutý (např. případ visacích zámků), plnila se pravděpodobně vnitřní dutina hořlavým materiálem, který mohl sloužit jednak k odstranění zbytku kyslíku a jednak k prohřátí spojované součásti i zevnitř. Dalším možným důvodem přítomnosti hořlavého materiálu mohla být fixace jednotlivých vnitřních částí zámku proti jejich pohybu. Toto jsou ovšem hypotézy, vyvozované pouze z vnitřních povrchů zámků, které vykazují známky po hoření. [20] Celý výrobek se poté obalil jílem, aby bylo zabráněno přívodu vzduchu, tím vznikl tzv. „pájecí balíček“. Ten byl následně vložen do výhně, kde se nahřál, po docílení červené barvy nebo „lesklého povrchu“ byl vytažen a ponechán k částečnému ochlazení. Dále byl ochlazen ve vodě, což způsobilo prasknutí balíčku a umožnilo vytáhnout hotový výrobek. Tato technologie letování je také přesně popsána v knize německého mnicha Theophila, která je datována do první poloviny 12. století. I přes tuto dataci ale Björn Gustafsson nepředpokládá, že by se tato technologie během dvou set let příliš obměnila. [20]

Tento způsob letování byl velmi oblíbený zvláště proto, že umožňuje letovat i bez přidání tavidla, které by zabránilo oxidaci. Zde je nutno podotknout, že hliněný obal nemá jiný účel než zabránit přívodu vzduchu ke spojovaným součástem. V některých částech Švédska se visací zámky tímto způsobem vyráběly do 19. století a kravské zvonce se touto tradiční metodou vyrábí dodnes. Důkazem častého využívání této technologie v době vikinské je pak především množství nalezených částí hliněných obalů, které můžeme za „pájecí balíčky“ považovat. Za ideální příklad využití této technologie můžeme pokládat nález z roku 2010, kdy byl mezi skořápkami „pájecích balíčků“ objeven jeden stále neotevřený. Ten obsahuje závaží, které se skládá z kusu oceli obaleného vrstvou mosazi. Tento výrobek mohl patřit zlatníkovi krále Olafa, který takto pravděpodobně produkoval normalizovaná závaží, používaná pro obchod. [19] Z obdobných nálezů závaží můžeme zjistit, že jejich povrchová úprava probíhala stejně jako letování zámků, pouze s rozdílem, že ocelové závaží s měděnou slitinou bylo nejprve zabaleno do látkového balíčku a až poté obaleno hliněnou skořápkou (Obr. 2-8). [18]



Obr. 2-8 "Pájecí balíček" se závažím

Ten obsahuje závaží, které se skládá z kusu oceli obaleného vrstvou mosazi. Tento výrobek mohl patřit zlatníkovi krále Olafa, který takto pravděpodobně produkoval normalizovaná závaží, používaná pro obchod. [19] Z obdobných nálezů závaží můžeme zjistit, že jejich povrchová úprava probíhala stejně jako letování zámků, pouze s rozdílem, že ocelové závaží s měděnou slitinou bylo nejprve zabaleno do látkového balíčku a až poté obaleno hliněnou skořápkou (Obr. 2-8). [18]

Jako letovací materiál byly používány, jak je výše zmíněno, slitiny mědi. Ze záznamu mnicha Theophila můžeme výslovně vyčíst, že se letovací směs tvořila z rozdrcené mědi a cínu, ke kterým se ještě přidávala také sůl a vinný kámen, které měly fungovat pravděpodobně jako tavidlo. [20]

Hliněný materiál obalu byl obdobného charakteru jako materiál forem k odlévání. Obsahoval organická vlákna pro zpevnění a křemičité písky, které sloužily k vytvrzení hlíny. Rozdíl oproti formám je zvláště v tom, že „pájecí balíčky“ nemusely snášet takové tepelné zatížení jako formy, a proto nebývaly tak vytvrzovány. [18]

V případě rekonstrukce meče typu D z Gnězdova je ovšem nutno brát ohled na to, že samotný jílec není tvořen ocelí, ale slitinou mědi s nižší teplotou tavení. Z toho vyplývá, že by jej bylo možné letovat v balíčku jen velmi obtížně. Je pravděpodobnější, že bylo ke sletování jednotlivých dílů použito pájky na bázi stříbra nebo slitiny mědi se stříbrem, které snižuje teplotu tavení. Vyloučeno také není, že byl při letování použit nějaký druh tavidla a pájení bylo provedeno na vzduchu.

2.3.2 Nýtování [9] [21] [22]

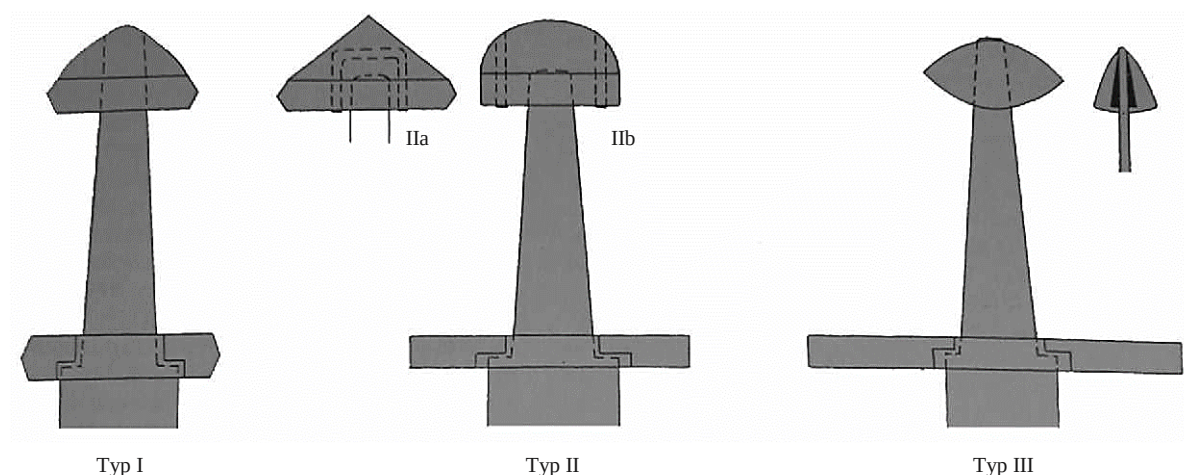
Nýtování je technologie objevená dlouho před dobou vikinskou, jeho počátky sahají až k době bronzové. V raném středověku byla tato technologie ve Skandinávii dobře známa a hojně využívána. S nýtovanými spoji se můžeme setkat ve velkém množství na lodích, kde se jedná o nýty velkých průměrů (Obr. 2-9). S menšími nýty se setkáváme např. u nýtování kovových puklic na kruhové štíty nebo při výrobě mečů. Nejmenší nýtované spoje je možno nalézt na kroužkových zbrojích nebo na kostěných hřebenech, kde plnily často i dekorativní funkci. Vzhledem k tomu, že se k vytvoření běžného pevného a nerozebíratelného spoje nekovových materiálů užívaly často pouze spoje nýty nebo hřebíky (pokud vynecháme metody lepení klihem), můžeme se s nýtovými spoji shledat mimo výše zmíněná „výrazná“ použití i na většině obyčejných věcí denní potřeby, jako jsou bedny, nýtované trámy apod.

K vytvoření nýtového spoje je v první řadě potřeba vykovat nýt. Zde se jedná o kulatinu nebo hranol, nazývaný dřík, na kterém je z jedné strany vykována hlavička. Spojované součásti jsou k sobě přiloženy a provrtány. Poté je vložen do otvoru nýt a přiklepnutím přitažníkem je dosaženo co nejtěsnějšího dosednutí součástí. Nakonec se provlečený dřík napěchuje a vytvoří se hlavička, čím dosáhneme pevného spojení součástí. Pokud je nýt malého průměru a z měkkého materiálu, je možné nýtovat za studena, v případě větších průměrů a tvrdých materiálů je potřeba nýt před nýtováním nahřát.



Obr. 2-9 Nálezy ocelových nýtů

Při montáži raně středověkého meče se s technologií nýtování setkáváme minimálně v jednom případě. Tím je přinýtování hlavičky meče, čímž zajistíme kompaktnost a celkovou fixaci jílce. Jako nýt je zde brán trn meče. Trnem je myšlena část, procházející jílcem, která je dále vykována v čepel. Trn byl v raném středověku často vyráběn z nízkouhlíkové oceli, zvláště v případech, kdy nízkouhlíková tyč tvořila střed čepele, na kterou byla navařena ocelová ostří s vyšším podílem uhlíku. Nízkouhlíková ocel jako materiál trnu byla výhodná nejen vyšší houževnatostí, která zaručovala, že meč nepraskne u záštity, ale bezesporu také tím, že jako plastičtější materiál byla jednodušší k roznýtování. Způsobů, jak přinýtovat hlavičku bylo několik a ve své práci o typologii mečů z roku 1991 je popsal německý vědec Alfred Geibig. V části, kde se věnuje hlavičkám, rozděluje druhy jejich fixace do tří skupin (Obr. 2-10). První skupinou jsou dvoudílné hlavičky, kterými prochází řap a je roznýtován na hlavě hlavičky. V případě druhé skupiny je řap zanýtován na základně hlavičky a hlava je poté k základně přinýtována zvlášť. Přinýtování hlavy hlavičky zde mohlo být řešeno dvěma způsoby. Způsobem, značeným jako a) bylo nýtování realizováno dvěma nýty, nebo v případě b) smyčkou ve tvaru U. V obou případech byly nýty k hlavě hlavičky připájeny tvrdou pájkou a roznýtovány ze spodní strany základny hlavičky. Poslední skupinou Geibigovy typologie jsou jednodílné hlavičky, zanýtované stejným způsobem, jako první skupina. [9]



Obr. 2-10 Typy struktur hlavic mečů podle A. Geibiga

2.4 Zdobení a povrchové úpravy

Šperky v raném středověku byly často zdobeny povrchovými úpravami z drahých kovů. Důvodem pro samotné využití povrchové úpravy bylo nejen docílení bohatějšího a zdobenějšího vzhledu, ale také ochrana povrchu proti oxidaci. Při použití povrchové úpravy drahým kovem se pak jednalo především o pokrytí tenkou vrstvou zlata, které bylo nejen nejdražším kovem v raně středověké Skandinávii, ale má také výbornou chemickou odolnost vůči vnějším vlivům.

Jedním z důvodů pro užití zlata pouze pro povrchové úpravy užitných šperků (nebo zbraní) byla jeho malá pevnost a tvrdost. V případě např. tenkostěnných broží bylo potřeba, aby byla základem pevnější slitina mědi, protože zlato samotné by se po delší době používání zdeformovalo. Dalším důvodem byla zajisté samotná cena zlata, která byla velmi vysoká, zvláště kvůli absenci zlatých ložisek v oblasti Skandinávie. Také import zlata byl však omezený, hlavním importovaným drahým kovem bylo bezesporu arabské stříbro.

Zbraně se dále často zdobily i rytím nebo tausíí drahými kovy. V případě tausie se můžeme setkat i s využitím více druhů kovů s různými barvami na jednom výrobku (typicky stříbro a měď). Díky rozdílnosti barev kovů pak mohly být tvořeny různé dvoubarevné vzory a obrazce.

Jílec meče typu D je zdoben, mimo povrchové úpravy, i technologií rytí. Ryté jsou především opět výše zmíněné krycí plíšky, nicméně je pravděpodobné, že byly rytím částečně zdokonaleny i lité ornamentované díly jílice.

2.4.1 Povrchová úprava zlacením [23] [24] [25] [26]

Na Gnězdovském meči typu D je dominantní metodou povrchové úpravy zlacení, zlatená vrstva zde pokrývá veškerý povrch odlévaných ornamentovaných částí.

Během doby vikinské byly známy čtyři metody zlacení. Těmi byly plátování (plate/foil gilding), plátkování (leaf gilding), difúzní zlacení (diffusion gilding) a zlacení rtuťovým amalgámem neboli zlacení ohněm (mercury/fire gilding).

- **Plátování (plate/foil gilding)** (Obr. 2-11, bod 1)

Nejstaršími používanými metodami jsou bezesporu plátování a plátkování. Plátování zlatými plechy datujeme přibližně až do období 3000 př. n. l. [24] Tato technologie spočívá v mechanickém uchycení zlatého plechu na pokrývanou část. Zlatý plech nebo fólie zde byla uchycena buď nýty, zahnutím plechu za hrany pokrývané součásti nebo pomocí lepidel. Ač je tato metoda metodou nejjednodušší, má podstatné nevýhody. Tou je zvláště velmi velká spotřeba zlata. Další nevýhodou je pak slabá vazba zlata k pokrývanému povrchu, kdy zlato není schopno ochránit pokrývaný povrch před případnou korozí. I přes tyto nevýhody se ale tato technologie využívala ještě za Římské říše. [23] I později se s touto metodou můžeme setkat při tausii (inlay) a plátování (overlay).

- **Plátkování/Lístečkové zlacení (leaf gilding)** (Obr. 2-11, bod 2)

Z plátování se vyvinula technologie plátkování neboli lístečkového zlacení. Oproti plátování je rozdíl v tloušťce zlaté vrstvy, která je u lístečkového zlacení podstatně menší. Technologie lístečkového zlacení se vyvinula až po zdokonalení technologií čištění zlata, protože nečistoty ve zlatě nedovolí vyklepání tenkého lístečku. Původ této technologie je tak datován zhruba okolo 2000 let př. n. l. v Mezopotámii. [24] Technologie využívá do tenka rozklepaného zlatého lístečku, který je poté nanesen na povrch. Lístečky zlata, které jsou nanášeny na pokrývaný povrch, se tloušťkou blíží až 6 μm . Takovéto lístečky nejsou schopny nést svou vlastní váhu, a proto bývají k povrchu lepeny. Pokud je ale pozlacovaná součást tvořena slitinou mědi nebo stříbrem, je možné lísteček nanést a zahladit i bez použití lepidla. V těchto případech je vhodné součást zahřát, což urychlí difuzi mezi oběma materiály a umožní přichycení zlatého lístečku nesrovnatelně pevnější než při použití lepidla. [23] Jasnou výhodou této metody je tedy velmi malá spotřeba zlata a možnost zlacení i nekovových materiálů. I v dnešní době se ke zlacení kamene a dřeva využívá převážně tato metoda. Naopak její velkou nevýhodou je, že tato velmi tenká zlatá vrstva se může lehce sedřít, pokud by byl zlacený výrobek vystaven abrazi. Také je u této metody problematické zlacení složitých a jemných ornamentů, kde se tenký lísteček zlata nanáší velmi obtížně.

- **Difúzní zlacení (diffusion gilding)** (Obr. 2-11, bod 3)

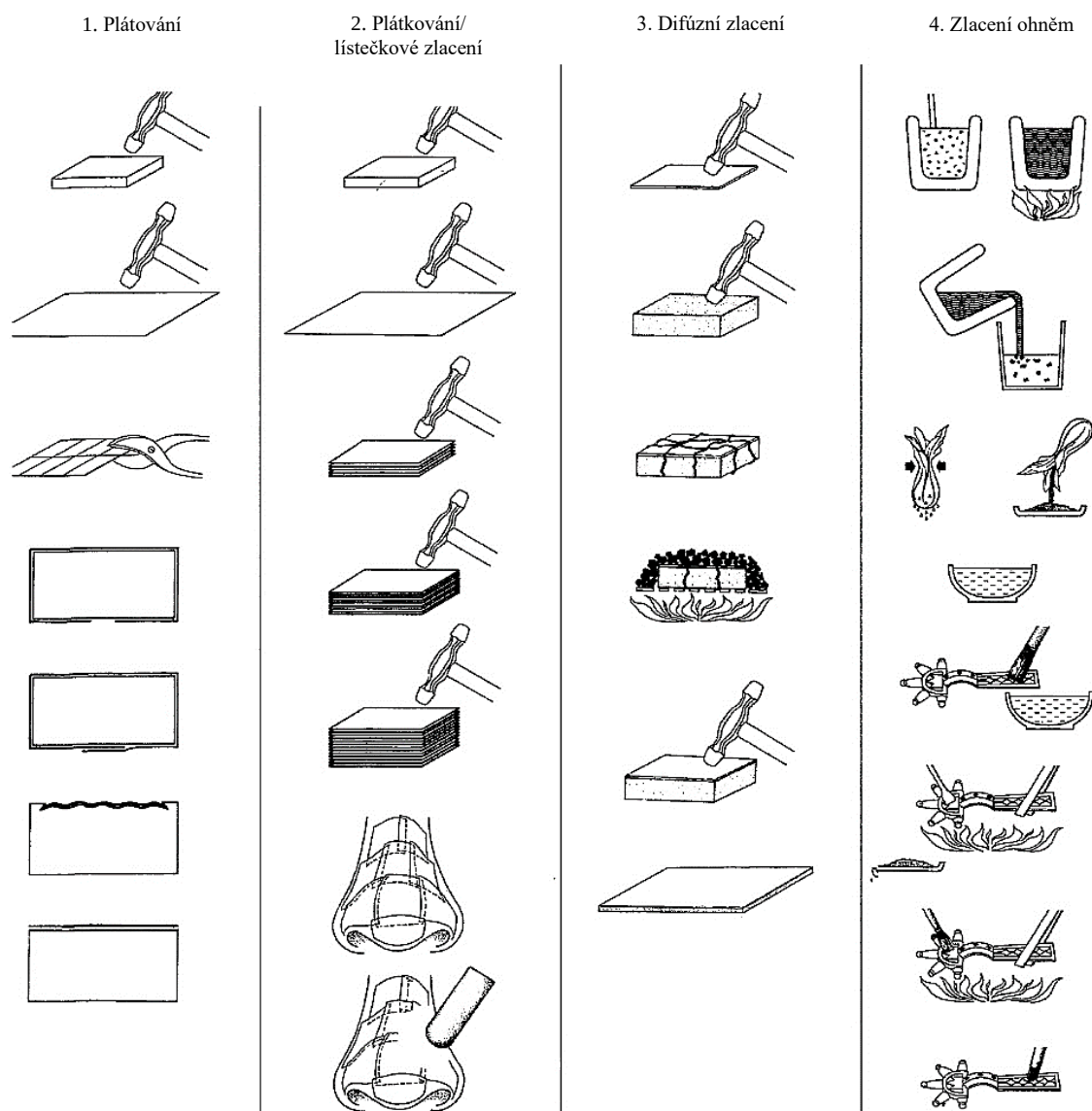
Další metodou, používanou ke zlacení je zlacení pomocí difuze. Tato metoda využívá přirozenou difuzi atomů mezi kovovými materiály. Jde o jev, kdy se atomy na hranici dvou materiálů přirozeně snaží vyrovnat koncentraci obou prvků, takže dochází k oboustranné výměně atomů mezi materiály, čímž je vytvořena velmi silná vazba. Difúzní pochody mezi zlatem a zlaceným kovem jsou přitom urychleny zahřátím součásti na teplotu okolo 300 °C. Tato metoda byla využívána zvláště ke zlacení stříbra a je detailně popsána mnichem Theophilem ve 12. století. Nejvhodnější je pak tato metoda pro zlacení plechů, ty byly poté často ještě rozklepány do tenčích vrstev a používány např. k plátování. Její výhodou je zvláště velmi dobré přichycení zlata k materiálu, které zaručuje dlouhodobou stabilní vazbu a dobrou ochranu výrobku proti korozi. Dále je výhodou i stále poměrně malá spotřeba zlata, jehož vrstva se pohybuje okolo 8–20 μm . Nevýhodou této metody je pak hlavně neschopnost zlatit složité povrchy, kdy nemusí dojít k dostatečnému kontaktu obou kovů. Tuto metodu nelze použít na zlacení slitin mědi, protože měď při zahřátí rychle tvoří oxidy, které zabrání vytvoření difúzní vrstvy mezi oběma materiály. I přesto se tato metoda dá stále využít ke zlepšení vazby při plátkování.

- **Zlacení ohněm (fire gilding) (Obr. 2-11, bod 4)**

Poslední zlaticí metodou je zlacení pomocí rtuti neboli zlacení ohněm. Tato metoda také ve své podstatě využívá difuze mezi atomy dvou kovů. Zlato je při této technologii rozpuštěno ve rtuti, čímž vznikne amalgám. Ten je poté rovnoměrně nanesen na zlacený kov. Rtuť v amalgámové směsi podporuje difuzi atomů mezi zlatem a základním kovem. Vysoká plasticita amalgámu umožňuje jeho snadné nanesení na celý předmět. Po nanesení amalgámu je potřeba celý předmět zahřát. Při dosažení teplot mezi 250–350 °C dojde k odpaření rtuti z amalgámu a zároveň dochází vlivem vyšší teploty k usnadnění difuze mezi zlatem a zlaceným kovem. Po odpaření rtuti zůstane na povrchu zlaceného předmětu vrstva zlata o tloušťce okolo 100 µm. Zároveň v této vrstvě zůstává malé množství rtuti (5–25 %), díky kterému je tato metoda rozpoznatelná při zkoumání nálezů. Výhodou zlacení ohněm je tedy zejména velmi pevná vazba mezi zlatou vrstvou a zlaceným kovem. Zároveň tato metoda umožňuje rovnoměrné zlacení i velmi složitých ornamentů a vzorů. Díky těmto vlastnostem se tato technologie používala ve zlatnictví až do zavedení zlacení elektrolýzou v roce 1840 Georgem a Henrym Elkingtonovými. [25] Nicméně tyto výhody jsou vyváženy dvěma velkými negativy. Prvním je toxicita rtuti. Rtuť je těžkým kovem a je pro lidský organismus vysoce toxická. Pro člověka je nejnebezpečnější formou otravy vdechování jejích par. Ty mohou způsobit erozivní bronchitidu vedoucí až k respiračnímu selhání. Rtuť ale působí toxicky i na centrální nervový systém, zvláště kvůli rozpustnosti v tucích. [26] Z tohoto důvodu bylo zlacení rtutí vždy vysoce nebezpečné a zlatníci často kvůli těmto parám umírali. S nebezpečností této metody byli v raném středověku řemeslníci obeznámeni, jak dokládá Theophilus ve svých zápisech z 12. století, kde se o této metodě zmiňuje. [24] Druhou velkou nevýhodou této metody byla potřeba rtuti samotné. Rtuť nebylo možno ve Skandinávii v raném středověku získávat, proto byla tato metoda závislá na importu. Rtuť se mohla tehdy do Skandinávie dostat zejména obchodem s arabskými zeměmi, a zvláště s Východořímskou říší. S tou měla raně středověká Skandinávie velmi dobré obchodní vztahy díky obchodním cestám přes Kyjevskou Rus. I proto se s metodou zlacení ohněm můžeme setkat ve Skandinávii ve větším množství než např. v germánských zemích. [23]

Vzhledem ceně i nebezpečnosti rtuti se můžeme setkat se snahou rtuť nahradit olovem. Psané zdroje ale bohužel nejsou ohledně těchto pokusů příliš přesné a není jisté, jak přesně měla tato technologie probíhat. Olovo nelze odpařit bez toho, aby došlo k rozpuštění zlata, ani netvoří se zlatem slitiny, proto je nemožné, aby rtuť v tomto procesu plnohodnotně nahradilo. Vzhledem k těmto skutečnostem je pravděpodobné, že zde olovo mohlo sloužit pouze jako měkká pájka, která sloužila k připájení zlaté vrstvy na základní kov. [23]

Při volbě technologie zlacení pro rekonstruovaný jílec je nutné brát v potaz všechny doposud popsané vlastnosti zlatících metod, protože jílec samotný nebyl zkoumán z hlediska chemického složení. Ve Skandinávii byla na obdobné ornamenty používána technologie zlacení ohněm nebo plátkování. Z těchto je ovšem daleko pravděpodobnější použití metody amalgámového zlacení. Ke zvolení této metody vede několik důvodů. Prvním je stav zachování zlaté vrstvy na samotném nálezu, kde je možné se setkat s poměrně dobře zachovalou zlatou vrstvou, očividně velmi dobře přichycenou. Druhým je složitost zlacených vzorů, které by bylo plátkováním velmi složité dobře pozlatit, zvláště když je zlacená vrstva vidět i v průhledových otvorech mezi obrazci. Posledním důvodem je situování meče do tehdejší společnosti. Meč byl zhotoven jako velmi výjimečná zakázková práce, jeho budoucí majitel zajisté neměl důvod si nezaplatit jak větší množství zlata na jeho pozlacení, tak importovanou rtuť. Meč samotný byl navíc jako zbraň vystavovaný abrazivnímu poškození při nošení. Z toho plyne, že bylo třeba použít metodu, zaručující jak tlustší vrstvu zlata, tak co nejlepší přilnutí zlaté vrstvy na vzorovanou slitinu mědi. Všechny tyto požadavky splňuje zlacení rtutí.



Obr. 2-11 Druhy zlatících technik

2.4.2 Povrchová úprava cínováním [17] [18] [19]

Druhou povrchovou úpravou na gnězdovském meči je cínování. Pocínovanými částmi jsou krycí plíšky, nacházející se na spodní části základny hlavičky a z obou stran záštity.

Technologie povrchové úpravy cínováním je nám známá především z nálezů. Často byla tato povrchová úprava používána na nástrojích a užitných věcech, kde byla jejím hlavním smyslem ochrana proti korozi. Bohužel, z dobových zdrojů máme velmi málo zmínek o této technologii jako takové. Proto můžeme pouze předpokládat, že bylo cínování prováděno buď jako tvrdé pájení, tj. v „pájecím balíčku“, nebo jako měkké pájení na nahřívacích táccích za použití přírodního tavidla, jakým může být například vinný kámen. [17]

2.5 Možnosti rekonstrukce meče pomocí 3D technologie

Při rekonstrukci některých výrobků bychom se mohli setkat s požadavky na vytvoření přesné repliky litého výrobku. Takový požadavek by mohl nastat například v případě muzeí, které by chtěly mít exponát vystavený, což je ovšem u vzácných a zakonzervovaných sbírkových předmětů možné jen výjimečně. Zároveň ale u těchto exponátů není možnost sejmout přesný otisk, který by zaručil přesnost repliky. V tomto případě by mohly pomoci 3D technologie – technologie 3D skenu a 3D tisku.

2.5.1 3D skenování [27] [28] [29] [30] [31]

3D skenování je proces, při kterém je 3D objekt naskenován pomocí 3D skeneru. Výstupem je model v počítačovém systému CAD.

3D skenování je samo o sobě snímáním bodů (na snímaném objektu) v prostoru a zaznamenáváním jejich souřadnic, čímž získáváme mrak bodů. Body jsou poté zpracovány programem, uzpůsobeným k práci s mrakem bodů. Po nadefinování hraničních a tvořících křivek program vytvoří plochu, aproximující množinu bodů. Ta tvoří 3D model, kvalita vykreslení objektu je zde závislá na množství snímaných bodů a volbě řádu plochy. Ten je nutné zvolit tak, aby se zachovala realističnost objektu – při velkém vyhlazení by mohlo dojít ke ztrátě detailů na objektu. Plocha je po zpracování exportována a model je dále zpracováván v CAD systému, kde jej lze dále upravovat a analyzovat. [27]

Technologie 3D skenování je v současnosti hojně využívána v mnoha odvětvích průmyslu. Důležitou roli hraje v reverzním inženýrství. To je obor, analyzující už vyrobené součástky a snažící se vylepšit jejich funkčnost. Je možné jej využít jak v případě kopírování součástí v mezích autorského zákona, tak např. k znovuvytvoření ztracené dokumentace. Velmi významnou roli má 3D sken také v lékařství, ať už v případě skenování pro analýzu stavu orgánů (zejména mozku – tomografie), nebo v případě skenování částí těla pro tvorbu implantátů. Dalším využitím 3D skenu může být např. uchování historických památek a nálezů. Při tomto použití jsou 3D modely výborným způsobem, jak zajistit nálezy, které by jinak byly v ohrožení přirozené degradace nebo vlivem např. přírodních katastrof, válek ap. Technologie 3D skenu má taky velmi významné místo ve filmovém průmyslu, kde se dnes velmi běžně využívá skenování obličejů nebo i celých postav, které jsou dále počítačově upravovány. Využití má také plošné skenování velkých objektů, jako domů nebo i krajiny. Toto lze využít jak opět ve filmovém průmyslu, tak v průmyslu stavebním, nebo např. v případě památek, muzeí, nebo turistických míst formou „virtuální prohlídky“.

Typů 3D skenovacích technologií je několik. Skenovat lze kontaktně (mechanicky), pomocí fotogrammetrie, laserové triangulace, technologií strukturovaného světla nebo laserovým pulzem (pomocí znalosti doby letu světla).

• Kontaktní skenování

Pracuje na principu snímání polohy snímacího nástroje, kterým se postupně dotýkáme na různých místech objektu. Snímací nástroj je umístěn na soustavě ramen, která snímá polohu jeho hrotu v prostoru. Důležité je, aby byl snímaný objekt po celou dobu ve stejné pozici. Tato metoda se nehodí se pro snímání složitějších objektů.

- **Fotogrammetrie**

Tato metoda je založená na zpracování dat z více fotografií skenovaného objektu. Fotografie musí být pořízeny z různých úhlů. Program pak rozpoznává pixely fotografií, náležící stejnému fyzickému bodu a díky tomu postupně skládá 3D obraz objektu. Výhodou této metody je možnost snímání velkých objektů. Nevýhodou je náročné zpracování, vyžadující velký výkon počítače, nutnost většího množství fotografií z různých úhlů, přičemž je nutné brát v potaz zkreslení obrazu a rozlišení fotoaparátu.

- **Laserová triangulace**

Metoda pracuje s laserovým paprskem (bodovým, nebo liniovým), který je vyslán na povrch mapované součásti. Paprsek se pak odráží pod určitým úhlem do kamery (snímače). Vzhledem k tomu, že je známá vzdálenost mezi kamerou a zdrojem paprsku, stejně jako úhel mezi paprskem a kamerou, je možné pomocí trigonometrické triangulace spočítat vzdálenost bodu. Tato metoda je přesná až na desítky mikrometru, její nevýhodou je velká citlivost na vlastnosti povrchu součásti.

- **Technologie strukturovaného světla**

Stejně jako metoda laserové triangulace, i technologie strukturovaného světla pracuje na principu trigonometrické triangulace. Místo laseru ale využívá promítání světelného vzoru (nejčastěji pruhů) na snímáný objekt. Přístroj pak vypočítává vzdálenost bodů podle zakřivení světelné linky.

- **Laserový pulz**

3D sken pomocí laserového pulzu vychází ze znalosti rychlosti světla. Přístroj pak dopočítává, za jak dlouho se vyslaný a odražený paprsek vrátí zpátky od měřeného povrchu, stejně, jako například sonary. Jako velká nevýhoda této technologie se považuje malá rychlost měření, protože je třeba nasnímat objekt ze všech stran postupně. Toto se kompenzuje využitím soustavy zrcadel, která pomáhají změřit více bodů bez nutnosti přenášení přístroje. Jeho výhodou je pak možnost měření velmi velkých objektů, např. staveb.

V případě snahy využít 3D sken při rekonstrukci exponátu je třeba zmínit důležitý faktor. Tím je omezení využití těchto technologií pouze na rekonstrukci vnějších, pohledových tvarů předmětu. Pouze těmito technologiemi není většinou možné přesnou repliku vytvořit. Nicméně i přesto jsou možnosti, jak tyto technologie využít k usnadnění rekonstrukce právě výše zmíněných vnějších částí.

2.5.2 3D tisk [32] [33] [34]

3D tisk je moderní technologie, která si čím dál více získává prostor napříč průmyslem. Využití nachází jak v profesionální praxi, tak je dnes často využívána i v domácích podmínkách.

Technologií 3D tisku je více druhů, jednotlivé technologie jsou voleny podle tisknutého materiálu, požadavků na detail výsledného výrobku a v neposlední řadě podle finanční náročnosti.

- **Fused Deposition Modelling (FDM)** (Obr. 2-12, bod 1)

Technologie FDM je pravděpodobně nejvíce známou, dostupnou a nejlevnější technologií 3D tisku. Princip funkce je založen na předehřáté hlavě s tryskou, do které je dodáván filament (materiál ve formě „drátu“). Ten je tlačěn přes trysku, kde je rozpuštěn a pohyblivou hlavou dávkován na podložku. Při každé další vrstvě se hlava zvedne, nebo podložka sníží. Tato technologie využívá jako tisknutý materiál nejčastěji plast a je vhodná na tisk konceptů nebo hrubých modelů. Výsledný výrobek je potřeba očistit, protože většinou nese výrazné stopy na rozhraní nanášených vrstev.

- **Stereolitografie (SLA)** (Obr. 2-12, bod 2)

Tato technologie využívá UV vytvrditelné pryskyřice (fotopolymer). Do této pryskyřice svítí skrze soustavu zrcadel UV laser, který takto postupně vytvrzuje vrstvu po vrstvě. Stereolitografie je velmi přesná a oblíbená metoda.

- **Digital Light Processing (DLP)** (Obr. 2-12, bod 2)

DLP technologie je velmi podobná SLA. Také využívá fotopolymery, rozdílem je zdroj světla. Místo UV laseru používá DLP obloukovou lampu, kterou je možné ozářit celou tisknutou vrstvu náraz, díky tomu je rychlejší než SLA.

- **Selective Laser Sintering (SLS)** (Obr. 2-12, bod 3)

Metoda selektivního laserového slinování funguje na principu prášku (nejčastěji kovového), na který svítí vysoce výkonný CO₂ laser. Laser způsobí rozežhnutí a slinutí prášku, po takovémto slinutí jedné vrstvy je nanášena další vrstva prášku a proces se opakuje. Tento proces je podobný SLA technologii s tím rozdílem, že je zde využíváno prášku místo pryskyřice.

- **Selective Laser Melting (SLM)** (Obr. 2-12, bod 4)

Tato technologie je obdobná jako SLS s tím rozdílem, že dochází přímo k roztavení prášku a zároveň svaření s předchozími vrstvami – ne pouze ke slinutí.

- **Laminated Object Manufacturing (LOM)**

Technologie LOM využívá nejčastěji plastovou fólii nebo papír, které jsou na sebe postupně laminovány pomocí tlaku a tepla. Plát materiálu je vystřižen/vyřiznut laserem a laminován na předchozí vrstvy, poté je celek posunut dolů a překryt novým plátem. Metoda je velmi rychlá a použitý materiál levný, produkt však nemá kvalitní povrch.

- **Binder Jetting (BJ)** (Obr. 2-12, bod 5)

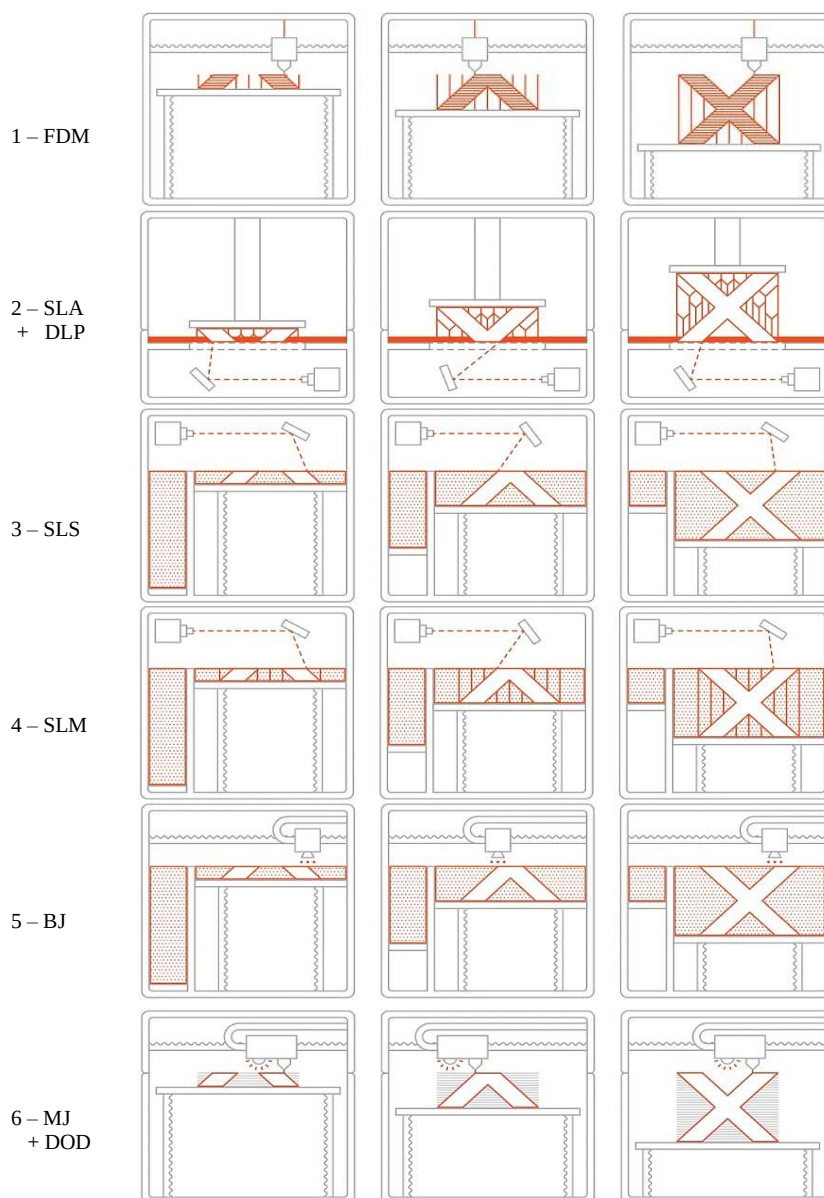
Technologie BJ pracuje na obdobném principu jako SLS nebo SLM. BJ využívá prášku, který je ale spojován nanášeným pojivem. Ačkoli není možné touto metodou dosáhnout kvalitního povrchu výrobku, je možné takto tisknout jak kovy nebo plasty, tak keramiku nebo písek.

- **Material Jetting (MJ)** (Obr. 2-12, bod 6)

Material jetting je často využíván ve šperkařství, kde se s jeho pomocí tisknou modely ze syntetického vosku pro odlévání na vytavitelný model. Tato metoda pracuje jako inkoustová tiskárna s tím rozdílem, že místo inkoustu je nanášena vrstva vosku nebo fotopolymery. Po jejím nanesení je vrstva ochlazená (v případě vosku) nebo vytvrzena (v případě fotopolymery). Výhodou metody je rychlost a detailnost výsledného výrobku.

- **Drop On Demand (DOD)** (Obr. 2-12, bod 6)

Poslední technologie je také využívána ve šperkařství a k tvorbě voskových modelů. Jedná se o podobnou technologii jako u MJ. Funkci náplně plní dva materiály – syntetický vosk na tisk vlastního modelu a podpurný materiál, ze kterého se tiskne „forma“, do které je vosk lit. Toto všechno se opět opakuje vrstva po vrstvě. Po dokončení tisku je podpurný materiál rozpuštěn v rozpouštěcím roztoku, díky čemuž získáme přesný voskový model, vhodný pro další zpracování technologií vytavitelného modelu. Technologie DOD umožňuje tisk velmi detailních modelů.



Obr. 2-12 Druhy technologií 3D tisku

3 REKONSTRUKCE

Při rekonstrukci jílce meče typu D z Gnězdova je potřeba nejprve vyhodnotit poznatky, získané v předchozích kapitolách, tj. historický kontext a různé možnosti rekonstrukce daných dílů. Po jejich vyhodnocení se jako nejvhodnější varianta rekonstrukce jeví odlévání více technologiemi. Pro vzorované plíšky by byla ideální technologie rytí vzoru do kamene a lití kovu do této kamenné formy, pro vnitřní části zase vytvoření formy hlíněné. Technologie lití do kamenné formy by ovšem vyžadovala větší zkušenost při volbě kamene a jeho zpracování. Špatný úsudek by zde mohl mít za následek prasknutí formy a ztrátu dlouho rytého vzoru. Proto bylo v případě této rekonstrukce mírně ustoupeno od autentičnosti a byla zvolena technologie lití na ztracený vosk do hlíněné formy. Provedení zvolenou technologií by ale nemělo výsledek významněji ovlivnit.

3.1 Tvorba modelů

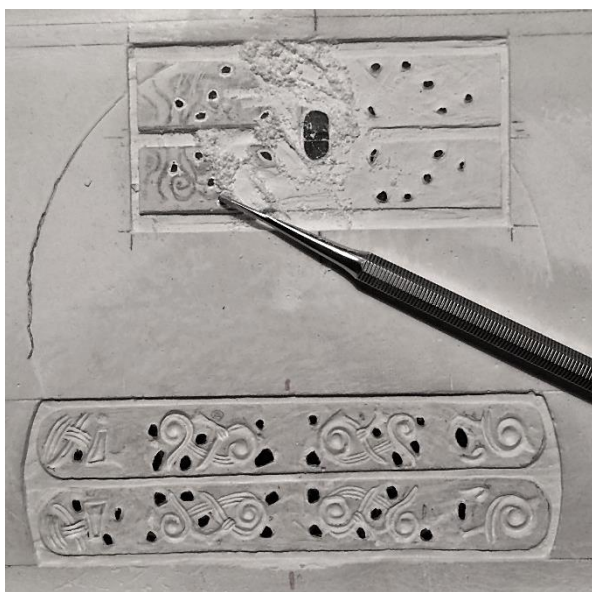
Tvorbu vlastních modelů lze rozdělit do dvou částí. První a složitější je výroba modelu pro vzorované části jílce, druhou výroba modelu pro vnitřní, nosné části.

3.1.1 Tvorba vzorovaných dílů

První částí bylo provedení detailního prozkoumání vzorů na jílcích a provedení rešerše v oblasti výroby forem a modelů v raném středověku, které byly popsány v předchozích kapitolách. Po ustoupení od kamenné formy byly použity jednodušší alternativy obdobnými principy, které zachovávají původní vzhled.

- **Tvorba modelů vzorů bočních plíšků záštity a hlavice**

Vlastní rytí vzorů bočních plíšků bylo uskutečněno do sádrového bloku, čímž byl zachován správný způsob vytvoření vzoru. Vzor byl ryt postupně a pravidelně pro kontrolu otiskován do plastelíny (Obr. 3-1 a Obr. 3-2). Předlohou pro rytí bylo několik fotografií meče, rozměry byly vyhodnoceny z práce S. Yu. Kainova, který ve své práci uvádí většinu hlavních rozměrů jílce a připojuje i překreslení jednotlivých komponentů. Zbytek rozměrů byl odvozen analogicky.



Obr. 3-1 Rytí sádrového modelu



Obr. 3-2 Sádrové bloky, rýcí nástroje a plastelína s kontrolním otiskem vzoru

Vlastním rytím do sádry vznikla matečná forma. Do té byl posléze odlit Lukopren, čímž vznikl lukoprenový model. Ten byl dále znovu odlit do Lukoprenu, aby tím vznikla lukoprenová forma pro odlévání voskových modelů (Obr. 3-3). Lukoprenová forma vznikla jako alternativa po neúspěšném pokusu odlít vosk přímo do sádrové formy. Vosk při tomto pokusu šel vytáhnout i přes použití separátoru velmi špatně a částečně sádrovou formu poškodil.



Obr. 3-3 Lukoprenové formy vzorovaných plíšků

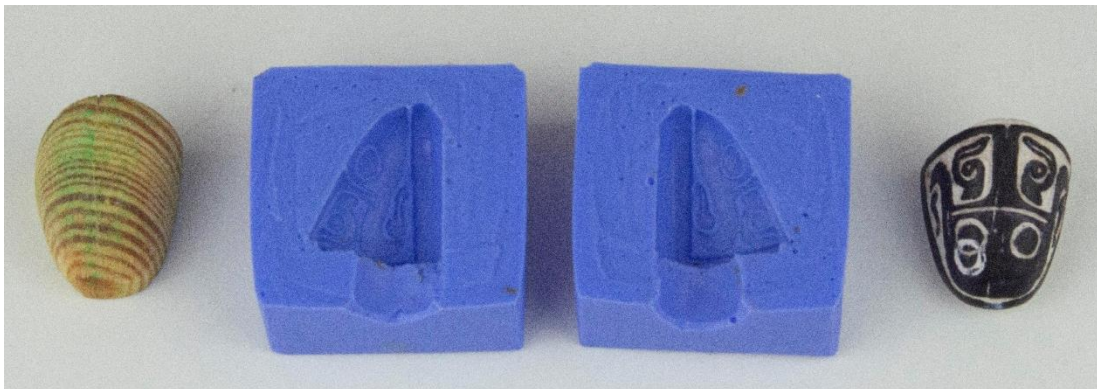
Do lukoprenové formy byl dále lit hnědý syntetický vosk (Obr. 3-4), ke kterému nebyly získány bližší informace. Tento vosk má v tuhém stavu relativně vysokou tvrdost, jeho nevýhodou velká křehkost a smrštění při chladnutí. V tekutém stavu má velmi nízkou viskozitu a dobře zatéká, proto byl použit pro modely vzorovaných částí. Po odlití voskového modelu byl ještě model upraven a prvky vzorů zvýrazněny.



Obr. 3-4 Voskové modely z hnědého syntetického vosku

• Tvorba modelu bočních částí hlavy hlavice

Boční části hlavice jsou, jak je uvedeno v předchozí kapitole, od vzorovaných plíšků rozdílné a pravděpodobně byly modelovány přímo z vosku. Při této rekonstrukci byl nejdříve vytvořen ze dřeva hrubý tvar, podle kterého byla vyrobena lukoprenová forma. Do té byla odlita sádra, čímž vznikl polotovar. Do toho byly následně vyryty vzory. Vyrytý sádrový model byl pak opět odlit do Lukoprenu, čímž vznikla finální matečná forma (Obr. 3-5).



Obr. 3-5 Jednotlivé prvky, použité při výrobě formy na voskové modely

Do finální lukoprenové matečné formy byl odléván hnědý syntetický vosk, zaručující dostatečné přenesení detailů vzorů. Voskový model byl nadále opět finálně upraven (Obr. 3-6).



Obr. 3-6 Voskový model boční vzorované části hlavy hlavice

3.1.2 Výroba modelu vnitřních částí

Výroba modelu kostry jílce je poměrně problematická. Práci ztěžuje fakt, že o vlastním uspořádání vnitřních dílů nemáme přehled, a tak je potřeba vycházet pouze z analogií a teoretických úsudků.

Ohledně tvaru vnitřních částí bylo vycházeno z fakt, že valná část mečů měla ocelové zástity částečně vybrány a masivnější hlavice bývaly duté. Vzhledem k tomu, že má mosaz vyšší hustotu než ocel, bylo analogicky odvozeno, že jak jílec, tak základna hlavice budou duté. Vlastní konstrukce kostry byla částečně inspirována replikou výrobce Dimy Chramcova (Obr. 3-7 a Obr. 3-8) a dále konzultována se S. Yu. Kainovem.



Obr. 3-7 Rekonstrukce vnitřní kostry od
D. Chramcova



Obr. 3-8 Vrchní strana rekonstrukce od
D. Chramcova

Vlastní tělo kostry záštity a základny hlavice bylo nejprve vyrobeno ze dřeva podle rozměrů z práce S. Y. Kainova. Poté byly tyto díly sejmuty formou a odlity z vosku. Voskovému modelu byla vybrána středová část, aby vznikla požadovaná dutina. Nakonec byl tento model opět odlit Lukoprenem, čímž vznikla forma, ze které je možno díly odlévat opakovaně. Střední část hlavy hlavice byla pak odlita přímo v celku s předlitým středovým otvorem. Tato část není vyrobena dutá, aby lépe vyvažovala meč a také aby nedošlo k jejímu zdeformování při nýtování řapu. (Obr. 3-9)



Obr. 3-9 Dřevěné modely a formy na vnitřní
kostru jílce

Voskové modely, použité k zaformování, byly odlity do výše zmíněných lukoprenových forem ze zeleného syntetického vosku Blayson (A7 – FR/1200). Tento vosk má vyšší viskozitu než hnědý, použitý na vzorované části. Jeho výhodou je vyšší houževnatost a jednodušší opracovatelnost.



Obr. 3-10 Voskové modely pro lité díly jílce

3.2 Výroba forem

Jako materiál formy byla zvolena hliněná směs. Jelikož tato hliněná směs nebyla předtím testována, bylo zde riziko neúspěšného lití. Protože je ale finální a zkompleťovaný jílec nutný pro druhou část práce, věnující se 3D skenu a 3D tisku, byla zhotovena ještě druhá modernější směs.

3.2.1 Dobová směs

Dobová směs byla inspirována prací Anderse Söderberga a založena na bázi jílu. Tato směs měla pomoci vytvořit dobrou dobovou kopii částí nálezu a zároveň získat náhled na kvalitu povrchu a problematiku této směsi při odlévání tenkých a složitých vzorovaných plíšků.

- **Složení směsi**

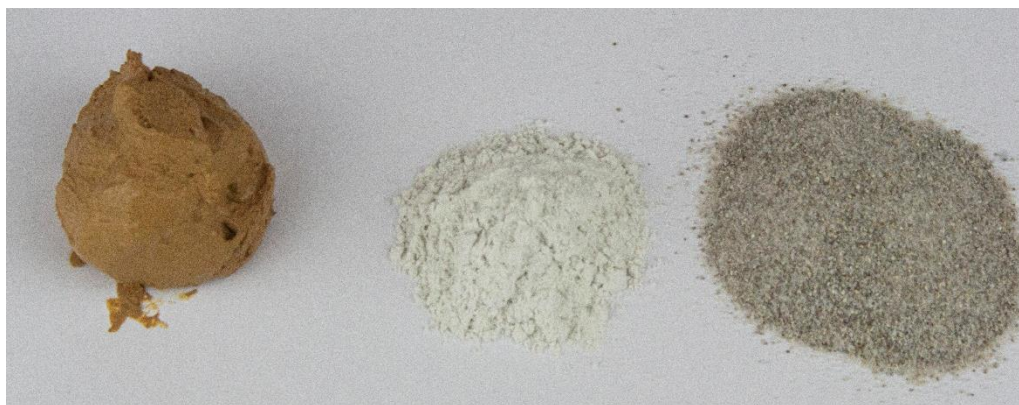
Pojivem dobové směsi byl přírodní neupravený jíl. Ten byl získán v bývalém kaolinovém dole v Rudici v okrese Blansko (Obr. 3-11). Použit byl jemný jíl, který byl naplaven u dvou jezer nacházejících se uprostřed lomu. Následně byl přesit od nečistot ve formě malých kamenů, větviček, stébel rostlin a listů. Nakonec byl nechán částečně vyschnout do nepříliš mokré, ale tvárné podoby. V tomto stavu byl zakonzervován až do použití.



Obr. 3-11 Kaolinový lom v Rudici

K jílovému pojivu bylo přidáno ostřívo ve formě křemenného písku. Jako lehčivo byly použity suché, jemně nasekané plevy, jelikož v dané době nebylo možné získat koňský nebo kravský hnůj.

Poslední složkou byl jemně mletý kvarcit (křemenná moučka). Ten byl přidán pouze na první tenkou vrstvu modelu, aby došlo k zachování veškerých detailů.



Obr. 3-12 Materiály pro výrobu formy (zleva):
jíl, kvarcitová moučka, křemenný písek

• Formování

Formování probíhalo ve dvou etapách. Nej dřív byl vzorovaný a odmaštěný model položen na dřevěnou desku vzorem nahoru a byla na něj opatrně nanесena vrstva formovací směsi tak, aby směs vyplnila všechny vzory a otvory. Po vytvoření této vrstvy byla tato polovina odříznuta pomocí drátu od podložky a proces se opakoval s dalším modelem. Po zaformování první poloviny formy u všech modelů byly celky otočeny. V této fázi byl vytvořen náletek. Ten není totiž u tohoto typu formování tvořen z vosku jako součást vytavitelného modelu, ale je do hlíny pouze vyryt hladítkem. Následně byla nanесena zadní strana. Po dokončení práce byly formy přesunuty do chladu, aby pomalu vysychaly (Obr. 3-13). Praskliny, které se začaly tvořit přibližně během dvanácti až dvaceti čtyř hodin byly pravidelně zatírány rozmělněným jilem. Vysychání před žíháním a litím trvalo přibližně dva až tři týdny.



Obr. 3-13 Schnoucí hliněné formy



Obr. 3-14 Vnitřek použitých vypálených forem

Po prvním lití byly zbylé formy omotány drátem pro zpevnění a obaleny ještě jednou vrstvou naostřeného jilu s dlouhými dřevěnými pilinami, aby se zabránilo vytékání případnými prasklinami (Obr. 3-15).



Obr. 3-15 Vyžíhaná a popraskaná hliněná forma zpevněná drátem

3.2.2 Moderní směs

Moderní směs a formy byly vytvořeny jako rezerva pro případ neúspěšného pokusu formování dobovou metodou. Tvorba směsi a formování probíhalo tzv. „sympoziční metodou“ pod vedením zasloužilého uměleckého slévače, sochaře a keramika Jiřího Vlacha, emeritního pedagoga Střední uměleckoprůmyslové školy v Uherském Hradišti.

• Složení směsi

Jako pojivo při této umělecké metodě slouží sádra, která tvoří přibližně polovinu směsi. Zbytek směsi je tvořen velmi jemně mletým kvarcitem (křemennou moučkou) a hrubším pískem, které plní funkci ostřiva (Obr. 3-12). V našem případě byla hrubší část ostřiva tvořena z poloviny křemenným pískem a z poloviny drceným šamotem. Směs byla promíchána za sucha.

• Formování

Na voskové modely byly nejdříve přilepeny měkkým voskem voskové nálitky a výfuky. Poté bylo nutno modely odmastit. Po oschnutí byly pokládány na skleněnou desku vzorovanou stranou nahoru a takto byly připraveny k zaformování (Obr. 3-16).



Obr. 3-16 Voskové modely s vtokovými systémy



Obr. 3-17 První vrstva sádrové směsi s armováním

Promíchaná suchá formovací směs byla sypaná do vody, dokud se v ní nevytvořil „ostrůvek“. Směs byla takto nechána nějakou dobu bez míchání, aby dostatečně nasákla vodou a netvořily se hrudky. Po nasáknutí byla mírně promíchána, aby došlo k důkladnému promísení, ale nezrychlilo se tuhnutí sádry.

Již rozmíchaná formovací směs byla dále aplikována na vzorované části voskových modelů. Aplikace probíhala nahozením směsi a jejím následným důkladným vetřením štětečkem. Po nanesení první vrstvy bylo ještě podkladovou deskou poklepáno, aby došlo ideálně k úplnému odstranění vzduchových bublinek, které se mohly nacházet u povrchu modelu. Na zaschlou první vrstvu byly následně položeny ohýbané dráty (Obr. 3-17) a nanesena druhá vrstva směsi. Díky tomuto opatření získal model pevnost a bylo možné jej po chvíli otočit (Obr. 3-18). Stejným postupem se poté nanasla zadní strana formy. Nakonec byl tento sádrový balíček vložen do plechovky vystlané drátěným pletivem a zalit řidší směsí s větším podílem písku. Tím byla zajištěna pevnost formy a fixace jejího tvaru.



Obr. 3-18 Otočené formy připravené k formování zadní strany

3.3 Odlévání

Kapitolu odlévání můžeme rozdělit na dvě části: přípravu a vlastní odlévání.

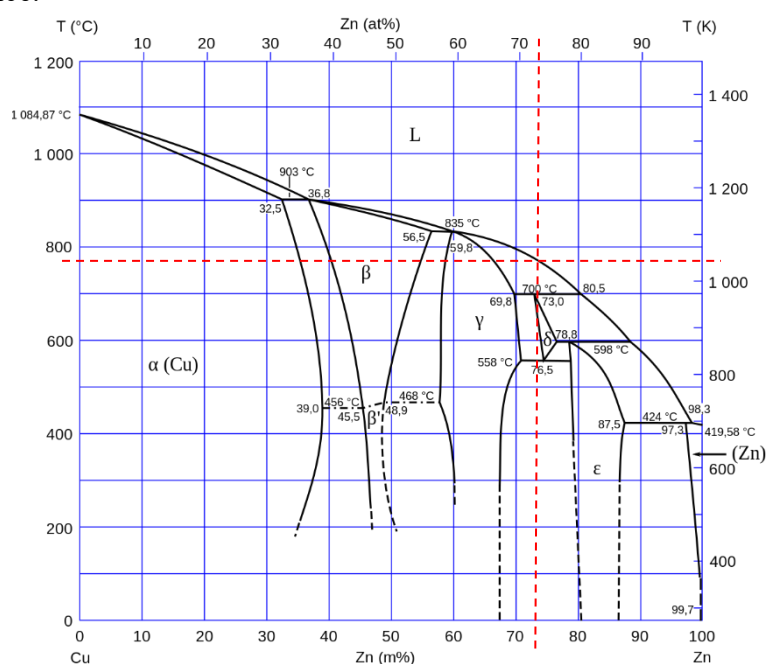
3.3.1 Příprava

Mezi přípravné činnosti v této práci zařazujeme činnosti vykonávané bezprostředně před litím. Tím je myšlena volba licího materiálu a jeho případná výroba a také poslední úpravy forem před litím, především jejich žihání.

- **Volba licího materiálu**

Volba materiálu vychází z analýzy odlitých výrobků, uvedené v předchozí kapitole. Materiál byl zvolen tak, aby přibližně odpovídal průměrným obsahům prvků v litých mosazných nálezech.

Jako základní materiál byla použita mosaz CuZn29, která byla získána z nábojnic. Tato mosaz měla ale oproti nálezům příliš velký podíl zinku, proto bylo potřeba jeho množství ve slitině snížit. Toho bylo docíleno přidáním cínového bronzu CuSn8 a čisté mědi. V závěru byla získána slitina CuZn24Sn0,5 o hmotnosti 12 Kg. Použitá slitina má stále vyšší obsah zinku než ve většině nálezů, bylo zde ale počítáno s úbytkem zinku vlivem jeho odpaření při několikanásobném tavení a dalším tepelném zpracování při tváření litých dílů v rámci kompletace jílce.



Obr. 3-19 Diagram Cu-Zn s vyznačením použité slitiny

- **Příprava forem k lití**

Před samotným litím bylo třeba v první řadě vytavit voskové modely z forem. Modely byly vytavovány v peci teplotou okolo 220 °C po dobu jedné hodiny (Obr. 3-20). Po vytavení modelů bylo potřeba ještě formy vyžít, aby došlo k jejich vytvrzení a odpaření chemicky vázané vody.



Obr. 3-20 Vytavování voskových modelů



Obr. 3-21 Žíhání forem

Žíhání probíhalo postupně v průběhu přibližně dvanácti až osmnácti hodin před litím. Formy byly žíhány postupně od 200 °C po 700 °C (Obr. 3-21). Na finální teplotě zůstávaly v peci přes noc před litím.

U části dobově vyráběných forem se objevily menší nebo větší praskliny, úplně ale praskla pouze jedna.

3.3.2 Lití

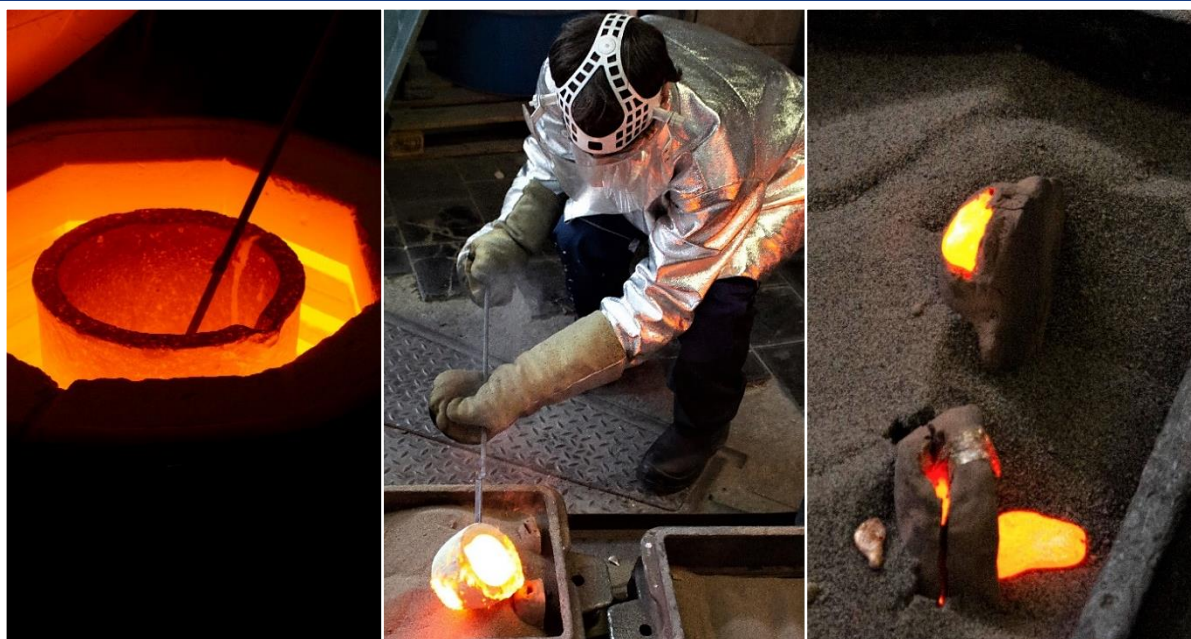
Lití mosazi probíhalo pod vedením slévače Ondřeje Štočka v prostorách slévárenské dílny VUT FSI v Brně.

Tavba byla realizována v elektrické peci v uhlíkovém tavném kelímku (Obr. 3-22 vlevo). Taveno bylo vždy celé množství mosazi (12 Kg). Pro sběr strusky z hladiny bylo použito sklo, které se nechalo na hladině natavit a poté bylo sebráno ocelovou tyčí včetně přilepené strusky.

První lící teplota byla 1120 °C, jako nejlepší vzhledem k hrubnutí zrna se ale ukázala teplota okolo 1050 °C. Mosaz byla nabírána sibalovou pánvičkou (Obr. 3-22 vlevo a uprostřed) a lita do forem, zasazených do pískového lože. Hliněné formy byly předeřhřívány na teplotu okolo 600 °C, prodleva mezi vytažením formy a litím byla do půl minuty. Moderní sádrové formy byly masivnější než hliněné, a tudíž hůře odváděly teplo. Proto byly po vytažení z pece ponechány ke zchladnutí a při lití byla jejich teplota do 100 °C.

• Lití do hliněných forem

První lití bylo provedeno do forem zahrnutých pískem (Obr. 3-22 uprostřed). Tlak způsobený tekutým kovem byl ale uvnitř forem příliš velký a formy povolovaly v prasklinách nebo na dělicí rovině a otevíraly se. To způsobovalo vytečení části kovu a špatné odlití součástí. V reakci na tento problém byl proveden pokus odlévat do forem zahrnutých v ocelových brocích, které by vytékající mosaz okamžitě schladily. Tato možnost se nakonec také nejevila jako ideální, protože byla příprava forem příliš zdlouhavá. Problém se nakonec podařilo částečně vyřešit tím, že byly formy při lití drženy v kleštích, aby se zamezilo jejich otevření. Většina forem ale měla více prasklin, a tudíž docházelo stále k vytékání a rozevírání forem (Obr. 3-22 vpravo). Proto bylo lití pozastaveno.



Obr. 3-22 Postup lití (zleva): nabírání kovu z tavného kelímku, lití do forem, formy s tuhnoucím kovem

Před druhým litím byly formy upraveny, aby nedocházelo k jejich rozevírání. Byly omotány drátem a byla na ně nanesena krycí vrstva k utěsnění prasklin. I tyto formy byly stále drženy při lití v kleštích. Díky těmto opatřením k jejich otevírání již nedocházelo a odlévání se povedlo relativně dobře. Bohužel, opakovaným žíháním a předchozím popraskáním došlo již k poškození povrchu vnitřních stěn formy a odlitky už neměly dostatečně dobrou texturu povrchu. Odlitky z více prasklých forem pak měly značné vady způsobené tím, že roztavená mosaz zatékala do prasklin.



Obr. 3-23 Kvalitou nedostatečné odlitky z hliněných forem



Obr. 3-24 Poměrně dobře odlitý odlitek z hliněné formy

I přesto, že většina odlitků nebyla vzhledem k praskání forem příliš kvalitní (Obr. 3-23), jeden vzorovaný středový díl se povedlo odlít poměrně velmi dobře (Obr. 3-24). Jeho forma byla menší a nedošlo u ní k žádnému poškození vlivem vysychání.

• Lití do sádrových forem

Protože při lití do hliněných forem nebylo vyrobeno dostatečné množství použitelných odlitků, bylo přistoupeno k odlití dalších dílů do sádrových forem. Odlití do těchto forem proběhlo bez problému, mosaz zatekla výborně i do výfuků a nedošlo ani k většímu hrubnutí zrna, které se u špatného odvodu tepla sádrou dalo očekávat. Jediné vady těchto odlitků byly způsobeny částecí prachu, které do forem napadaly pravděpodobně při sušení a žíhání z jejich povrchů. Tyto částecí se nepodařilo všechny vysypat, a tak na spodních stranách některých odlitků vytvořily v kovu „bublinky“. Nicméně, tyto vady nebyly markantní a nebyl problém je později odstranit cizelováním.

3.3.3 Odstranění forem a cizelování

Po odlití byly formy zchlazeny ve studené vodě. Hliněné formy byly většinou částečně popraskané, a i po nasáknutí vodou nebyl problém je kladivem odklepat. Směs na odlitku nijak zvlášť neulpívala a k očištění stačil mosazný kartáč. Sádrovým formám bylo třeba v plechovkách rozrušit strukturu hřebem, aby mohla být sádra z plechovek vymyta. Po dostatečném namočení šla ale směs z odlitků také velmi dobře odstranit a většina pozůstatků byla opět očištěna pouze mosazným kartáčem.

Po očištění byly z odlitků odřezány výfuky, přípoje byly zahlazeny bruskou. Hrubé součásti byly navíc opískovány v pískovačce.

• Cizelování

Cizelovány byly pouze díly určené ke kompletaci jílce, tj. díly odlité do sádrových forem. Kvalita jejich odlití byla poměrně dobrá, vzory byly odlity přesně a detailně a ani hrubnutí zrna nebylo nijak markantní. Jediné větší vady, které musely být opraveny, byly „kuličky“ na povrchu, vzniklé z bublinek, které se držely na povrchu voskových modelů při formování a nepovedlo se je při něm vyklepat. Mimo ně měl pouze jeden odlitek větší vadu ve vzoru. Všechny tyto vady byly odstraněny za pomoci ručního rydla, improvizovaných cizelovacích nástrojů a malé brusky. Druhou fází cizelování bylo tepání pozadí. To bylo mírně zatepáno,



Obr. 3-25 Vycizelované odlitky, připravené k odřezání nálitků a ke ztenčení

aby ustoupilo a dalo více vyniknout vzorům. Poslední fází úpravy vzorů pak bylo velmi jemné zvýraznění linek vzorů ručním rydlem a přešetření mosaznými kartáči.

Dále bylo potřeba odlité vzorované plíšky ztenčit. Důvodem bylo, že voskové modely, použité k výrobě forem byly o něco tlustší, než byla požadovaná tloušťka výsledných součástí. Větší tloušťka odlitků byla zvolena zvláště proto, aby nedocházelo k praskání modelů z křehkého hnědého vosku a také pro snadnější manipulaci s odlitky při cizelování. Ztenčení bylo provedeno úhlovou a pásovou bruskou, část ručními pilníky. Posledním krokem bylo odřezání nálitků, které do té doby napomáhaly upínání do svěráku a svorek při práci.

3.4 Povrchové úpravy a kompletace

Mezi povrchové úpravy patří zlcení celého povrchu. Výjimkou jsou ryté plíšky na spodní a horní straně záštity a spodní straně hlavice, které jsou cínované. Co se týče zlcení, původně mělo být plnohodnotnou součástí práce. Zvolenou technologií bylo zlcení pomocí amalgámu a na uskutečnění se měla podílet Fakulta Chemická VUT. Bohužel, spolupráce nemohla být nakonec uskutečněna a byla zrušena nedlouho před kompletací. Důvodem byla velmi složitá legislativa ohledně práce se rtutí, která, jak bylo zjištěno, neumožňovala provedení pokusu kvůli přísným bezpečnostním opatřením. Proto je část o povrchových úpravách i přes provedenou rešerši v rekonstrukci nuceně vynechána. Nicméně povrchové úpravy budou na hotové replice uskutečněny, i když v omezené míře. Místo zlcení amalgámem by měl být jílec dodatečně pozlacen metodou lístečkového zlcení, která snad splní funkci alespoň pohledově. Krycí plíšky, které jsou zdobeny cínováním, byly pocínovány za použití tekutého tavidla (chlorid zinečnatý) a použitím technologie máčení v lázni.

Mezi úkony kompletace patří zvláště letování kostry, tvarování vzorovaných plíšků a jejich následné letování na kostru. Mezi poslední úkony kompletace patří nasazení rukojeti a zanýtování nahřátého řapu. Ty ale vzhledem k jejich jednoduchosti není potřeba více popisovat.

- **Tvarování vzorovaných plíšků**

Jednotlivé plíšky byly postupně ohýbány do požadovaného tvaru pomocí dřevěné paličky a dřevěných přípravků, popř. na kováččině přes vrstvu kůže. Stěžejní bylo pravidelné žíhání po několika úderech, protože se na velmi tenkých profilech rychle začínaly tvořit prasklinky. Jejich vznikání bylo podpořeno otvory v odlitcích a v několika málo případech také struskou, která se v malém množství dostala do okrajů některých odlitků. Žíhání probíhalo nad plamenem zemního plynu. Mosaz byla nahřata do tmavě rudé a poté zchlazena ve vodě. Před tvářením byla pak znovu mírně zahřata, aby k tvarování docházelo za tepla, čímž bylo zmírněno riziko vznikání prasklin.

- **Letování**

Letování bylo rozděleno na dvě odlišné části, část letování vnitřní kostry a část letování vzorovaných plíšků. Důvodem k tomuto opatření byla skutečnost, že pokud by bylo vše letováno stejnou pájkou, nutně by nastávalo riziko, že letovaná kostra při následujícím letování zdobných plíšků povolí. Proto byla pro letování kostry zvolena pájka s vyšší tavnou teplotou, kdežto na vzorované plíšky pájka s nižší tavnou teplotou. Tavení a nahřívání probíhalo za pomoci autogenu acetylen–kyslík.

Při letování kostry byla použita mosazná pájka s pracovní teplotou okolo 900°C. Spojeny byly pomocí ní jak vnitřní díly záštity a základny hlavice (Obr. 3-26), tak boční vzorované díly hlavy hlavice s jejím středem. Jako tavídko byl použit boraxový prášek (tetraboritan sodný).

Na letování vzorovaných plíšků byla použita stříbrná pájka s pracovní teplotou okolo 700°C. Tímto velkým rozdílem pracovních teplot mezi pájkami bylo jednak zabráněno vzájemnému natavování již sletovaných spojů, jednak byly touto nižší teplotou chráněny jemné vzory na vzorovaných plíškách (Obr. 3-27). Tyto vzory by se mohly při vyšších teplotách již natavovat, a proto bylo použití pájky s nižší pracovní teplotou nutné. Jako tavídko byla použita speciální pasta pro stříbrné pájky.



Obr. 3-26 Mosazí sletovaná vnitřní kostra



Obr. 3-27 Vzorované plíšky přiletované stříbrnou pájkou



Obr. 3-28 Složená rekonstrukce jílce a detail hlavice (vpravo)

3.5 Test použití 3D technologií pro rekonstrukci

Pro test možnosti použití 3D technologií k vytvoření repliky nálezu byl použit v předchozí části vytvořený jílec. Prvním krokem tohoto testu je sken, podle něhož můžeme zhodnotit, jakou měrou je možno obdobné nálezy a díly skenovat do podoby 3D modelů. Druhým krokem je pak tisk samotného modelu, kde získáme představu, jakou kvalitou a s jakými problémy by se 3D tisk takovéto součásti potýkal. Vytisknutý model by dále mohl sloužit např. k vytvoření silikonové formy pro další reprodukcii.

3.5.1 3D sken [35]

Pro 3D skenování jílce byl použit skener ATOS TripleScan 8M (Obr. 3-29), jehož použití bylo pro účely práce umožněno Ústavem konstruování FSI VUT.

Tento skener pracuje na principu metody strukturovaného světla a využívá dvou kamer, fungujících na principu stereo kamerového zapojení. Pro úspěšné skenování by běžně stačila pouze jedna kamera, použití dvou ale dává skeneru možnost kontrolovat hodnoty a zpřesňovat výsledný sken. ATOS TripleScan 8M dále využívá modrého světla s úzkou vlnovou délkou. Tato tzv. „Blue Light Technology“ pomáhá získat nejen větší kontrast a tím snazší snímání, ale také zmenšuje možnost ovlivnění měření denním světlem. [35]



Obr. 3-29 ATOS TripleScan 8M

Pro skenování byl jílec nastříkán bílým práškem oxidu titanu, aby byl získán větší kontrast a matnost povrchu (Obr. 3-30 vlevo). Prášek modelu nijak neuškodí a je snadné jej po skenování odstranit. Jeho použitím se eliminuje chyba snímání, způsobená lesknoucím se povrchem. Takové povrchy totiž skener snímá hůře kvůli různorodosti odrazů a odlesků na povrchu.

Po nanesení prášku byly na jílec nalepeny kontrolní body, podle kterých skener určuje svoji polohu vůči snímané součásti. Pro úspěšné měření je potřeba, aby skener stále rozpoznával minimálně čtyři body. Práce pak probíhala postupným skenováním jílce z různých úhlů. Sken se přitom postupně kompletoval z jednotlivých snímků v programu na počítači. Po skončení skenování bylo potřeba ještě manuálně propojit části, které skener nesejmul a které tvořily v modelu „díry“. Nakonec byl model exportován ve formátu STL, který je používán pro 3D tisk (Obr. 3-30 uprostřed a vpravo).



Obr. 3-30 Jílec pokrytý oxidem titanu (vlevo), 3D sken jílce (uprostřed a vpravo)

Kvalita skenu byla velmi vysoká, podařilo se zachytit i většinu drobnějších detailů. Tyto detaily zůstaly v dostatečné kvalitě i po snížení rozlišení polygonální sítě modelu o jednu třetinu. Tento úkon byl proveden z důvodu zmenšení velikosti exportovaného souboru.

3.5.2 3D tisk

3D tisk jílce byl realizován na 3D tiskárně Magic NT L (Obr. 3-31), pracující na principu technologie FDM, s filamentem z ASA polymeru (obdoba ABS plastu). Tiskárna byla zvolena z důvodu nejlepší dostupnosti v době tisku. Technologie FDM byla použita s cílem ukázat, jaký by byl výsledek nízkonákladového tisku provedeného jednoduchou a dostupnou technologií. Tímto tiskem totiž získáme oproti ostatním technologiím (např. SLA) znatelně nižší kvalitu tisku. Při použití jiné, dražší a složitější technologie pak bude výsledek téměř zaručeně lepší. V případě možné rekonstrukce muzejního exponátu by pak investice do kvalitní technologie 3D tisku byla značná a dalo by se tedy očekávat, že by bylo možno daný sken zreprodukovat téměř dokonale.

3D model byl tisknut rozpůlen (Obr. 3-34), aby se docílilo co možná nejlepšího povrchu bez nutnosti použití podpor. Kvalita tisku byla dostatečná. Vzhledem ke zvolené technologii měl ale model méně kvalitní povrch, a to i přesto, že každá polovina byla tisknuta přibližně deset hodin. Nutností by tedy dále bylo povrch zbavit největších vad a obě poloviny k sobě slepit. Pro detailní úpravy není tisknutý plast vhodný. Proto by další úpravy bylo pravděpodobně nejjednodušší dodělat až na voskovém modelu.



Obr. 3-31 3D tiskárna Magic NT L



Obr. 3-32 Detail vytištěné hlavice



Obr. 3-33 Detail vytištěné záštity



Obr. 3-34 Obě půle vytištěného modelu, jedna v původním stavu, druhá se vzorem zvýrazněným grafitovým prachem

4 DISKUSE

V práci byla provedena rešerše dobových technologií a pokus o jejich následné zrekonstruování. Hlavní částí práce a rekonstruovanou technologií bylo především odlévání do hliněných forem, vytvořených na základě historických nálezů a poznatků z rešerše výzkumů.

4.1 Výsledky praktické části a jejich srovnání s rešerší

V případě odlévání do hliněných forem byl pokus ve velké většině neúspěšný. Prvním problémem bylo, že formy mírně praskaly už v průběhu sušení. Při lití se pak vlivem tlaku proudící roztavené mosazi otevíraly buď v místech prasklin nebo případně na dělicí rovině. Po zpevnění forem pak kov sice už formy neotevíral, nicméně do prasklin zabíhal stále a tím znehodnocoval vzory na povrchu. Jako další hůře provedená část se jevily nálitky. Ty byly příliš úzké a s nerovnoměrnou výškou okraje, takže z nich mosaz vytékala nebo bylo obtížné do menších nálitků při odlévání přesně nasměrovat proud kovu.

I přes výše zmíněné problémy jedna forma nepraskla a díl se povedl zhotovit v obstojné kvalitě. Jako příhodné podmínky pro kvalitní odlitek se ukázala lící teplota mosazi okolo 1050 °C a lití do poměrně hodně přehřátých forem o teplotě 600 °C. Po odlití byly formy po několika minutách chlazeny ve vodě, aby nedocházelo k přílišnému hrubnutí zrna.

Vzhledem k výše zmíněné nepoškozené formě bylo možno na dílu odlitým z ní alespoň přibližně zhodnotit kvalitu technologie lití do dobových hliněných forem. Na odlitku je možno vidět, že by při lepším procesu výroby formy mohla být kvalita povrchů velmi dobrá již po lití. Případné nedostatky odlitků v takovéto kvalitě by již bylo snadné odstranit cizelováním.

Z pohledu litého materiálu byla použita mosaz, jejíž složení bylo inspirováno nálezy. Tato mosaz se ukázala jako velmi dobrý materiál pro odlévání. Výborně zabíhala a umožňovala kvalitní výsledky i při nižší lící teplotě a poměrně pomalé lící rychlosti. Při dodatečných úpravách odlitků se také ukázala jako relativně dobře tvářitelná. Její největší nevýhodou je obtížná obrobitelnost. Z toho můžeme usuzovat, že originální historické nálezy měly dodatečné úpravy obráběním omezené na nezbytné minimum.

Odlévání moderní metodou na ztracený vosk bylo úspěšné. Drobné nedostatky odlitků byly způsobeny ve většině případů prachem, který se do formy dostal před litím, případně struskou, která nebyla dostatečně stažena z hladiny roztaveného kovu před litím. Většina vad odlitků byla odstraněna nebo zamaskována při cizelování.

V případě testu možnosti rekonstrukce použitím 3D technologií pokus dopadl úspěšně. Pomocí 3D skeneru bylo možno pořídit velmi přesný sken jílce a pomocí 3D tiskárny jej vytisknout. Rezervy můžeme vidět v použití 3D skeneru s technologií strukturovaného světla. Tato technologie totiž nezvládala příliš dobře zachytit hloubku a charakter otvorů, které byly součástí zdobení jílce. Mimo tento problém se ale 3D sken ukázal jako výjimečně dobrý. V případě 3D tisku byly rezervy v dané zvolené technologii. Nicméně i přes použití technologie FDM, která je obecně méně přesnou a levnější technologií, bylo dosaženo poměrně dobrých výsledků. Pro téměř ideální rekonstrukci v rámci možností 3D tisku by bylo potřeba ještě dále model očistit a vyhladit povrch, případně aplikovat povrchovou úpravu (např. nástřik barvy). Lze předpokládat, že by při využití dražší technologie bylo dosaženo ještě podstatně lepších a přesnějších výsledků.

Podle výsledného 3D modelu by dále bylo možno vytvořit silikonovou formu na odlévání voskových modelů, na které by bylo možno vytvořit keramickou formu moderní formovací technologií. Do keramické formy by dále již bylo možno standartně odlít mosaz, ze které

je originál vyroben. Vzhledem k dobré zabíhavosti mosazi by neměl být žádný problém v odlití detailů na povrchu a výsledek by měl být shodný s předlohou vytisknutou na 3D tiskárně.

4.2 Návrhy na vylepšení technologického procesu výroby jílců

Největším problémem hliněných forem bylo jejich praskání a otevírání se při lití. Jako řešení se tedy jeví úprava směsi a vlastní úprava forem jako celku.

První částí směsi, kterou by bylo potřeba vylepšit, je pojivo ve formě jílu. Jíl získaný z Rudice byl sice obstojný, nicméně se při sušení poměrně hodně deformoval a byl náchylný k praskání. Nejlepším řešením by zde bylo použití profesionálně zpracovaného jílu, určeného k výrobě keramiky. I z hlediska historické rekonstrukce by toto řešení nebylo problematické, protože kvalita a druh jílu je závislý na přesné lokaci jeho těžby.

Druhou velkou rezervou použité směsi byl nedostatek lehčiva. Jako to jsou využívány plevy, případně kravský a koňský hnůj. V rámci plev by bylo třeba volit jemné traviny, daleko lepší variantou by ale bylo použití hnoje. Toho by bylo možno přidat až do 50% celé směsi, aby bylo dosaženo dostatečného provzdušnění formy a zároveň eliminace šíření trhlin.

V rámci úpravy tvaru forem by bylo potřeba zlepšit výrobu nálitků. Jinou možností by bylo použití odlitých voskových nálitků, které by umožnily jednodušší dosažení vhodného tvaru i velikosti. Vylepšení tvaru nálitků by vedlo ke zlepšení rychlosti lití a eliminaci „rozlití“ kovu mimo formu.

Druhým problémem konstrukce forem bylo jejich otevírání se při lití na dělicí rovině. Řešení se zde nabízí dvě, a to aktivní a pasivní. Jako aktivní řešení je možné nazvat vlastní pomoc při lití. V tomto případě by slévač nebo pomocník držel formu v kleštích, čímž by zabránil jejímu otevření. Druhé řešení je pasivní a spočívá v úpravě formy. Formu by bylo potřeba v tomto případě zpevnit. Příkladem může být omotání první vrstvy formy drátem a poté nanesení druhé, krycí vrstvy. Toto řešení bylo použito jako nouzové při rekonstrukci v rámci této práce. Není ale vhodné z historického hlediska, protože neodpovídá nálezům forem, které jsou reprodukovány. Proto se jako vhodnější jeví aktivní řešení. Šlo by jej ale použít pouze v případě dobře vyrobených forem, které by neměly žádné praskliny (mimo dělicí rovinu), jimiž by mohl roztavený kov při lití vytékat.

4.3 Návrhy na využití 3D technologií při rekonstrukcích nálezů

Při tvorbě replik historických nálezů a exponátů by mohly 3D technologie zlepšit dostupnost materiálů ke zkoumání a široké veřejnosti umožnit interakci s muzejními exponáty.

3D technologie mají výhodu především v neinvazivnosti při jejich používání. 3D skener je schopen pořizovat i velmi detailní snímky při prakticky nulovém narušení nálezu. Jeho nevýhodou je potřeba zmatnění povrchu objektu pro lepší snímání (při technologiích využívajících světlo). Takového povrchu lze ale dosáhnout naprášením jemného (např. křídového) prášku na skenovaný objekt. Prášek lze po skenování bez rizika odstranit stlačeným vzduchem nebo štětečkem. Druhou podstatnou nevýhodou je přirozeně omezenost použití skenu pouze na vzorované a prostorové objekty a schopnost rekonstruovat pouze vnější povrchy. Složitější objekty sestavené např. z více dílů nebo s vnitřními dutinami by nebylo možno touto technologií dostatečně dobře rekonstruovat.

Technologie 3D skenu by mohla být využívána při zkoumání a výzkumu. Zřízením archivu naskenovaných objektů by spolupráce mezi vzdálenými institucemi mohla být podstatně jednodušší. Sken totiž umožňuje oproti fotografiím detailnější prostorové přiblížení povrchu a zkoumání vzorů, tvarů nebo rozměrů. V případě spolupráce mezi institucemi by pak tedy

stačilo pouze nasdílet 3D sken a fotografie, čímž by výzkumný pracovník získal velmi komplexní informace o nálezu i bez nutnosti cestování a žádání o přístup k nálezu.

Druhou možností využití 3D skenu by bylo v kombinaci s 3D tiskem využití širokou veřejností. Správně zvolená technologie 3D tisku by totiž byla schopna reprodukovat sken velmi přesně a dokonale. Následný model by mohl být nadále využit buď přímo, nebo k pořízení formy a např. odlití přesné kopie. Tyto kopie by mohly být vystaveny v muzeu společně s fotografiemi originálu, což by dalo návštěvníkům názornější představu o originálním exponátu, který by mohl být bezpečně uložen ve sbírkách. Vzhledem k nízké ceně takovéto repliky by mohl být v expozici zařazen i tak, že by si jej návštěvníci mohli prohlédnout zblízka, popř. i „osahat“. Toto by zároveň mohlo pomoci návštěvníkům s poruchami zraku, kteří by díky obdobným modelům mohli získat lepší představu o vystavených exponátech.

Je nutno ovšem brát v potaz, že repliky zhotovené 3D technologiemi by byly pouze přibližné a v mnoha případech by nemohly přesně odpovídat nálezům. Pro přesné rekonstrukce by tedy stále bylo potřeba vycházet ze zkoumání originálu a volit řemeslné zpracování.

ZÁVĚRY

Úkolem práce bylo zpracovat rešerši a pokusit se reprodukovat jílec meče dobovou technologií. V rámci té bylo zvoleno odlít do hliněných forem. Druhou částí bylo otestovat použití 3D technologií při rekonstrukci vyrobeného jílece.

Rekonstrukce dobovou technologií proběhla většinou neúspěšně z důvodu nedostatečné kvality formovací směsi. Jeden odlitek ze série se ale podařilo vyrobít v požadované kvalitě a několik dalších v hodnotitelném stavu, proto je možno pokus celkově hodnotit jako částečně úspěšný.

Rekonstrukce odlitím moderní metodou byla úspěšná a odlitky měly pouze malé vady, ve většině případů odstranitelné cizelováním.

Pokus o rekonstrukci vyrobeného jílece 3D technologií byl taktéž úspěšný. 3D sken dokázal jílec převést do digitálního 3D modelu ve velmi dobré kvalitě. 3D tisk pak pomocí dostupné a nenáročné technologie vytvořil poměrně kvalitní repliku. Podle ní by dále nebylo problematické vytvářet voskové modely pro moderní technologii formování a lití.

Použití dobových technologií při výrobě replik umožňuje vytvoření přesné repliky včetně dokumentace postupů při výrobě. Tento způsob je ale značně technologicky, časově a ekonomicky náročný. 3D technologie oproti tomu umožňují v rámci omezení použitých přístrojů vytvoření relativně přesné repliky. Výhodou jsou výrazně nižší náklady a časová úspora. Výsledných replik je přitom možno snadno vyprodukovat větší množství. Vzhledem k těmto faktům je možné předpokládat, že budou v budoucnu 3D technologie k podobným účelům využívány stále častěji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [65]

- [1] BATEY, Colleen, James GRAHAM - CAMPBELL, Helen CLARKE, R. PAGE a Neil PRINCE. *Svět vikingů: kulturní atlas*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 1998. ISBN 80-7176-669-0.
- [2] BRINK, Stefan a Neil PRICE. *The Viking world*. 1. New York: Routledge, 2008. ISBN 9780415333153.
- [3] FOOTE, Peter a David WILSON. *The Viking achievement: the society and culture of early medieval Scandinavia*. 1st joint ed. reprint. New York: St. Martin's Press, 1990. ISBN 0-312-03510-1.
- [4] CHRISTIANSEN, Eric. *The Norsemen in the Viking Age*. 1 2006. Malden, Mass.: Blackwell Publishers, 2002. ISBN 0-631-21677-4.
- [5] FOOTE, Peter a David M. WILSON. *Wikingowie*. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy, 1975.
- [6] THIEDECKE, Arendse. *De danske vikinger: Samfund, kongemagt og togter ca. 700 – 1050*. 1. Valby : Pantheon, 2003. ISBN 9788790108212.
- [7] SÖDERBERG, Anders. Scandinavian bronzecasting in the Viking Age and the Early Middle Ages. In: *Vikingbronze* [online]. Sweden: Anders Söderberg, 1999 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://vikingbronze.com/casting.htm>
- [8] VLASATÝ, Tomáš. Biografie meče. *Projekt Forlog: Reenactment a věda* [online]. Slaný: Projekt Forlog: Reenactment a věda, 2014 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://sagy.vikingove.cz/biografie-mece/>
- [9] KAINOV, Sergej. SWORDS FROM GNĚZDOVO. *Acta Militaria Mediaevalia VIII*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, , 7-1115-19. ISSN 1895-4103.
- [10] The Story of the Laxdalers. *Sagadb - Islandic Saga Database* [online]. Iceland: Sveinbjorn Thordarson, 2007 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://sagadb.org/laxdaela_saga.en2
- [11] PETERSEN, Jan. THE NORWEGIAN VIKING SWORDS. *Medieval Sword Resource Site* [online]. USA: Lee A. Jones, 1997 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://www.vikingsword.com/petersen/ptsn070d.html>
- [12] CARLISLE, Timothy. *The role and status of the smith in the Viking age*. Glasgow, 2013.. Thesis (MPhil(R)). University of Glasgow.
- [13] WILIAMS, Alan. A metallurgical study of some Viking swords. *Gladius: Estudios sobre armas antiguas, arte militar y vida cultural en oriente y occidente* [online]. Madrid: Instituto de Historia (CSIC), 2009, , 121-184 [cit. 2020-06-05]. DOI: <https://doi.org/10.3989/gladius.2009.218>. Dostupné z: <http://gladius.revistas.csic.es/index.php/gladius/article/viewFile/218/222>
- [14] SÖDERBERG, Anders. Scandinavian Iron Age and Early Medieval Ceramic Moulds - Lost Wax or Not or Both?. *EXARC* [online]. Leiden: EXARC, 2012 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://exarc.net/ark:/88735/10082>
- [15] SÖDERBERG, Anders. Viking Jewellery Mould Making: Experimental and Reconstructive Aspects. *EXARC* [online]. Leiden: EXARC, 2012 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://exarc.net/ark:/88735/10374>

-
- [16] TYKOT, Robert. Investigating Ancient “Bronzes”: Non-Destructive Analysis of Copper-Based Alloys. *Artistry in Bronze: The Greeks and Their Legacy (XIXth International Congress on Ancient Bronzes)* [online]. Los Angeles: J. Paul Getty Museum; Getty Conservation Institute, 2017 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.getty.edu/publications/artistryinbronze/conservation-and-analysis/36-tykot/?fbclid=IwAR0H1bw4-owLYf6SNBRcR0iSERvnclld4cxvKM2mq0OdLAmbDDE3H1dsJ6Ww>
- [17] SÖDERBERG, Anders. Metallurgic ceramics as a key to Viking Age workshop organisation. *The Journal of Nordic Archaeological Science, JONAS*. 2004, **14**(1), 115-124.
- [18] SÖDERBERG, Anders. The brazing of iron and the metalsmith as a specialised potter. *The Old Potter's Almanack*. 2014, **19**(2), 23-29.
- [19] SÖDERBERG, Anders. The brazing package that King Olof's goldsmith forgot to open. *Fornvännen - Journal of Swedish Antiquarian Research*. 2015, **110**(1), 48-50.
- [20] GUSTAFSSON, Björn. On Norse padlocks – production and use: Examples from the Birka Garrison. *Journal of Nordic Archaeological Science, JONAS*. 2005, **15**(1), 19–24.
- [21] Museum number 1891,1021.87. *The British Museum* [online]. London: The Trustees of the British Museum, 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://research.britishmuseum.org/research/collection_online/collection_object_details/collection_image_gallery.aspx?assetId=968324001&objectId=65608&partId=1
- [22] ZORI, Davide. Nails, Rivets, and Clench Bolts: a Case for Typological Clarity. *The Viking Site* [online]. Los Angeles: Cotsen Institute of Archaeology, University of California Los Angeles, 2011 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: http://www.viking.ucla.edu/publications/articles/zori_nails_rivets_clench_bolts_2007.pdf
- [23] AUFDERHAAR, Iris. From the goldsmith's point of view: Gilding on metals during the first millennium AD – techniques and their development in the Germanic area. *ArcheoSciences: Revue d'archéométrie* [online]. 2009, **33**, 243-253 [cit. 2020-06-24]. DOI: 10.4000/archeosciences.2269. Dostupné z: <http://journals.openedition.org/archeosciences/2269>
- [24] ODDY, Andrew. Gilding Through the Ages: An outline history of the process in the Old world. *Gold Bull* [online]. 1981, **14**, 75–79 [cit. 2020-04-07]. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03214601>. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF03214601.pdf>
- [25] THE HISTORY OF A LOST ART - MERCURY GILDING. *Antique Sage* [online]. Antique Sage, 2015 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <http://www.antiquesage.com/history-lost-art-mercury-gilding/>
- [26] Rtuť. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rtu%C5%A5>
- [27] JEČMÍNEK, Tomáš. *Využití 3D skeneru v tvorbě modelů elektrických strojů*. Brno, 2010.. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [28] ŠTIGLER, Jaroslav. *Design ručního 3D skeneru*. Brno, 2016.. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [29] FLYNT, Joseph. Types of 3D Scanning Technologies. *3DInsider* [online]. New Zealand: 3DInsider, 2013 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/3d-scanning-technology/>
-

-
- [30] ARRIGHI, Pierre-Antoine. 3D scanning technologies and the 3D scanning process. ANIWAA [online]. ANIWAA, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>
- [31] What is a 3D Scanning: How does 3D Scanning Work?. *Pick3DPrinter* [online]. Pick3DPrinter.com, 2019 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://pick3dprinter.com/what-is-3d-scanning/>
- [32] 3D Printers and 3D Printing: Technologies, Processes and Techniques. *Sculpteo* [online]. Villejuif, France: Scuplteo, 2009 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>
- [33] The 9 Different Types of 3D Printers. *3DInsider* [online]. New Zealand: 3DInsider, 2013 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/3d-printer-types/>
- [34] Types of 3D Printing Technology. *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- [35] ATOS Triple Scan – Industrial Optical 3D Digitizer. *GOM: a ZEISS company* [online]. Braunschweig, Germany: GOM, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.gom.com/metrology-systems/atos/atos-triple-scan.html>
- [36] Gnězdovo: The D-type sword from the C-2 barrow. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 18.
- [37] The parts of the hilt of the D-type sword from the C-2 barrow in Gnězdovo. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 19.
- [38] KRISTIANSEN, Kristian. Fig. 23.: Map showing the Viking Routes in Europe. In: *ResearchGate* [online]. Berlin: ResearchGate, 2008 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Kristian_Kristiansen2/publication/334508848/figure/fig15/AS:782736394551296@1563630307033/Map-showing-the-Viking-Routes-in-Europe-We-argue-that-the-Scandinavian-Bronze-Age_W640.jpg
- [39] Viking axe from Mammen. In: *National Museum of Denmark* [online]. København: National Museum of Denmark [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://en.natmus.dk/historical-knowledge/denmark/prehistoric-period-until-1050-ad/the-viking-age/the-grave-from-mammen/>
- [40] JOHNSON, Erik Irgens. Hilt of Petersen type I. In: PEIRCE, I. G. a Ewart OAKESHOTT. *Swords of the Viking Age*. Woodbridge: The Boydell Press, 2002, Plate VII. ISBN 0-85115-914-1.
- [41] The main component parts of the sword. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 9.
- [42] The E-type sword from the barrow L-13. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 26.
- [43] F. Androschchuk's Viking Age swords typology and chronology. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And
-

-
- Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 10.
- [44] 83684001: Gilt bronze oval brooch. In: *The British Museum* [online]. London: The Trustees of the British Museum, 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.britishmuseum.org/collection/image/83684001>
- [45] Ophus, Vang, Hed. 1/2. In: PETERSEN, Jan. *De Norske Vikingesverd: En typologisk-kronologisk studie over vikingetidens vaaben*. 1919, s. 72.
- [46] LORANGE, A. L. More examples of pattern-welding. In: PEIRCE, I. G. a Ewart OAKESHOTT. *Swords of the Viking Age*. Woodbridge: The Boydell Press, 2002, Plate II. ISBN 0-85115-914-1.
- [47] JONES, Lee A. Cross-Sections Showing Variations in Construction of Viking Age Double-Edged Sword Blades. In: PIERCE, I. G. a Ewart OAKESHOTT. *Swords of the Viking Age*. Woodbridge: The Boydell Press, 2002, s. 146. ISBN 0-85115-914-1.
- [48] SÖDERBERG, Anders. A direct matrix-mould and a lost wax-mould. In: *EXARC* [online]. Leiden: EXARC, 2012 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://exarc.net/sites/default/files/fig1.jpg>
- [49] Casting mould for oval brooches. In: *Flickr: The Swedish History Museum* [online]. Stockholm: Historiska Museet, 2011 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/historiska/6909049241/in/album-72157629399433221/>
- [50] SÖDERBERG, Anders. Fig 6. In: *EXARC* [online]. Leiden: EXARC, 2012 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://exarc.net/sites/default/files/image%20%286%29.jpg>
- [51] SÖDERBERG, Anders. Broochmould. In: *Vikingbronze* [online]. Sweden: Anders Söderberg, 1999 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://www.vikingbronze.com/images/broochmould.jpg>
- [52] SIGTUNA MUSEUM. Find no 13049. In: SÖDERBERG, Anders. *The brazing package that King Olof's goldsmith forgot to open*. Sigtuna: Sigtuna Museum, 2015, s. 49.
- [53] 968324001: Iron rivets. In: *The British Museum* [online]. London: The Trustees of the British Museum, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.britishmuseum.org/collection/image/968324001>
- [54] Geibig's structural types of the sword's head of the pommel. In: KAINOV, Sergej Yu. *Swords from Gnězdovo*. Kraków-Rzeszów-Sanok: Polish Academy of Art And Sciences in Kraków, Institute of Archaeology of Rzeszów University, Historical Museum in Sanok, 2012, s. 9.
- [55] Schematic illustration of gilding techniques. In: AUFDERHAAR, Iris. *From the goldsmith's point of view: Gilding on metals during the first millennium AD – techniques and their development in the Germanic area*. Presses universitaires de Rennes, 2009, s. 245.
- [56] 3D PRINTING PROCESS: MATERIAL EXTRUSION. In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161136/fdm-steps.png>
- [57] 3D PRINTING PROCESS: VAT POLYMERIZATION. In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161129/sla-steps.png>
-

-
- [58] 3D PRINTING PROCESS: POWDER BED FUSION (POLYMERS). In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161053/sls-steps.png>
- [59] 3D PRINTING PROCESS: POWDER BED FUSION (METALS). In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26160959/dmls-steps.png>
- [60] 3D PRINTING PROCESS: MATERIAL JETTING. In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161021/mj-steps.png>
- [61] 3D PRINTING PROCESS: BINDER JETTING. In: *All3DP* [online]. München, Germany: All3DP, 2014 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161004/bj-steps.png>
- [62] CHRAMCOV, Dmitrij. [Rekonstrukce meče typu D - kostra]. In: VK [online]. Rusko: VK, 2006 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://sun9-49.userapi.com/c850124/v850124427/175cc/M22DkpfC9_s.jpg
- [63] CHRAMCOV, Dmitrij. [Rekonstrukce meče typu D]. In: VK [online]. Rusko: VK, 2006 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://sun9-41.userapi.com/c850124/v850124427/175d5/5CivTTWm-NY.jpg>
- [64] Diagramme binaire Cu Zn. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9c/Diagramme_binaire_Cu_Zn.svg/1190px-Diagramme_binaire_Cu_Zn.svg.png
- [65] CITACE PRO: *Generátor citací* [online]. Brno: Citace.com, 2015 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
-

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 0-1 Jílec meče typu D z Gnězdova [36][37].....	10
Obr. 1-1 Skandinávské námořní obchodní cesty v raném středověku [38].....	11
Obr. 1-2 Sekera z Mammen [39].....	12
Obr. 1-3 Příklad zdobeného jílice. Zdobení je tvořeno stříbrnou a měděnou tausí [40].....	13
Obr. 1-4 Části meče [41].....	14
Obr. 1-5 Příklad jílice zdobeného děrováním [42].....	15
Obr. 1-6 Typologie jílců podle F. Androščuka [43].....	16
Obr. 1-7 Fibule [44].....	17
Obr. 1-8 Meč typu D podle Petersena [45].....	17
Obr. 1-9 Meč typu D z Hrobu C-2, Gnězdovo [36].....	17
Obr. 2-1 Příklad překládaného jádra [46].....	18
Obr. 2-2 Příklady průřezů raně středověkých čepelí [47].....	18
Obr. 2-3 Příklad voskového modelu [48].....	19
Obr. 2-4 Kamenná forma [49].....	19
Obr. 2-5 Příklad kopírování [50].....	19
Obr. 2-6 Detail záštity a hlavice meče typu D z Gnězdova [37].....	21
Obr. 2-7 Dvoudílná forma na fibuli [51].....	22
Obr. 2-8 "Pájecí balíček" se závažím [52].....	26
Obr. 2-9 Nálezy ocelových nýtů [53].....	27
Obr. 2-10 Typy struktur hlavic mečů podle A. Geibiga [54].....	28
Obr. 2-11 Druhy zlatících technik [55].....	31
Obr. 2-12 Druhy technologií 3D tisku [56][57][58][59][60][61].....	35
Obr. 3-1 Rytí sádrového modelu.....	36
Obr. 3-2 Sádrové bloky, rycí nástroje a plastelína s kontrolním otiskem vzoru.....	36
Obr. 3-3 Lukoprenové formy vzorovaných plíšků.....	37
Obr. 3-4 Voskové modely z hnědého syntetického vosku.....	37
Obr. 3-5 Jednotlivé prvky, použité při výrobě formy na voskové modely.....	38
Obr. 3-6 Voskový model boční vzorované části hlavy hlavice.....	38
Obr. 3-7 Dřevěné modely a formy na vnitřní kostru jílice.....	39
Obr. 3-8 Vrchní strana rekonstrukce od D. Chramcova [62].....	39
Obr. 3-9 Rekonstrukce vnitřní kostry od D. Chramcova [63].....	39
Obr. 3-10 Voskové modely pro lité díly jílice.....	39
Obr. 3-11 Kaolinový lom v Rudici.....	40
Obr. 3-12 Materiály pro výrobu formy (zleva): jíl, kvarcitová moučka, křemenný písek.....	40
Obr. 3-13 Hliněné formy schnoucí po zaformování.....	41
Obr. 3-14 Vnitřek použitých vypálených.....	41
Obr. 3-15 Vyžíhaná a popraskaná hliněná forma zpevněná drátem.....	41
Obr. 3-16 První vrstva sádrové směsi s armováním.....	42
Obr. 3-17 Voskové modely s vtokovými soustavami.....	42
Obr. 3-18 Otočené formy připravené k formování zadní strany.....	42
Obr. 3-19 Diagram Cu-Zn s vyznačením použité slitiny [64].....	43
Obr. 3-20 Vytavování voskových modelů.....	44
Obr. 3-21 Žihání forem.....	44
Obr. 3-22 Poměrně dobře odlitý odlitek z hliněné formy.....	45
Obr. 3-23 Kvalitou nedostatečné odlitky z hliněných forem.....	45
Obr. 3-24 Postup lití (zleva): nabírání kovu z tavného kelímku, lití do forem, formy s tuhoucím kovem.....	45

Obr. 3-25 Vycizelované odlitky, připravené k odřezání nálitků a ke ztenčení	46
Obr. 3-26 Vzorované plíšky přileťované stříbrnou pájkou	48
Obr. 3-27 Mosazí sletovaná vnitřní kostra	48
Obr. 3-28 Složená rekonstrukce jílce a detail hlavice (vpravo)	48
Obr. 3-29 ATOS TripleScan 8M	49
Obr. 3-30 Jílec pokrytý oxidem titanu (vlevo), 3D sken jílce (uprostřed a vpravo)	49
Obr. 3-31 3D tiskárna Magic NT L	50
Obr. 3-32 Detail vytištěné hlavice	50
Obr. 3-33 Detail vytištěné záštiny	50
Obr. 3-34 Obě půle vytištěného modelu, jedna v původním stavu, druhá se vzorem zvýrazněným grafitovým prachem	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Obsahy prvků ve slitinách raného středověku [16].....	25
---	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulka obsahu jednotlivých prvků v litých muzejních exponátech [16]
Příloha 2	Proces výroby od lukoprenové formy po mosazný odlitek
Příloha 3	Fotografie kompletního meče na různých podkladech
Příloha 4	Detail jílce
Příloha 5	Detail záštity a hlavice

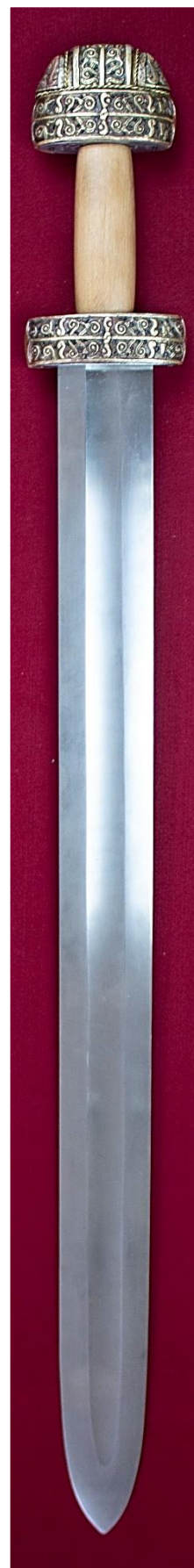
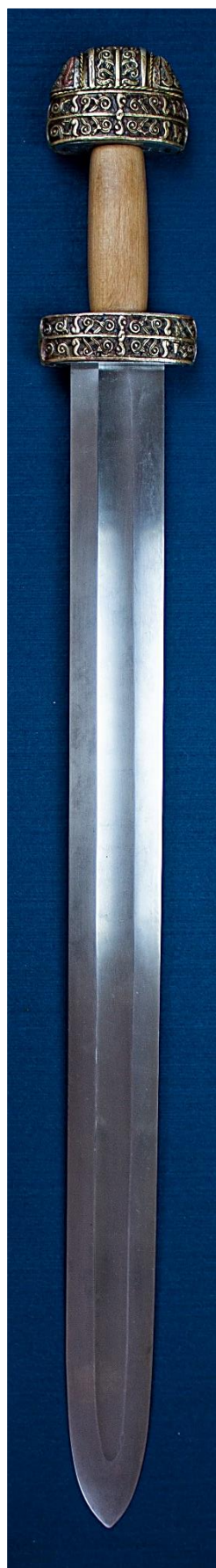
Příloha 1

Sample	Cu [%]	Zn [%]	As [%]	Pb [%]	Sn [%]	Fe [%]
Cruciform brooch	89,9	0,1	0	0,5	9,4	0
S411	73,6	24,3	0,2	0,9	0,5	0
S826-1	88,1	9,1	0,1	0,9	1,2	0,1
S826-2	80	16,8	0,1	0,9	1,6	0,1
S828	80,7	6,1	0,1	1,9	9,5	0,1
S1009	86	11,7	0,1	0,7	0,6	0,2
S1558	80,7	16,5	0,2	1,4	0,6	0,1
S1882	85,6	8,2	0	4,3	1,2	0,2
S1889	88,2	9,8	0,1	0,7	0,5	0,1
S2095	65,6	2,8	0	10	17,4	2,6
S2272	85,9	8,7	0,4	1,3	2,6	0,5
S2351	77,2	19,8	0,1	0,4	2	0
S2552	81,4	10,4	0,5	4,3	2,7	0,3
S2820	81,9	16,4	0	0,5	0,5	0,1
S2852	85,1	11,8	0	0,6	1,8	0,1
S3162-a	92,1	4,9	0,2	1,4	0,7	0,1
S3162-b/c	88,3	9,1	0,1	1,1	0,6	0,1
S3168	82,4	11,8	1,5	1,7	0,9	1
S3237	75,8	22,7	0,2	0,3	0,4	0
S3426	82,4	15,7	0,1	0,6	0,5	0,1
S3857	81,7	16,5	0	0,6	0,5	0
S4083	80,1	10,1	0	8,4	1,8	0
S4140	76,5	14	0,1	1,2	7,7	0,2
S4690	82,5	13,5	1,6	0,8	0,5	0,4
S7129	84,8	6	0,5	2,9	4,2	1,1
S8352	84,8	9,6	1	2	1,2	0,8
S12295	67,8	6,2	1	15,9	5,3	2,5
S12720	70,6	8	2,6	10,7	5,9	1

Příloha 2



Příloha 3



Příloha 4



Příloha 5

